This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

TQW
.B32

Digitized by Google

Library
of the
University of Wisconsin

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Telegraphie ohne Draht.
Röntgenstrahlen.
Teslalicht.

Digitized by Google

Digitized by Google

Telegraphie ohne Draht
Röntgenstrahlen
Teslalicht.

Eine Einführung in die neueren elektrophysikalischen Forschungen und deren praktische Ausgestaltung

von

Heinz Bauer.

Mit 98 Abbildungen.

Berlin W 35.

Verlag von Carl Duncker,
Herzogl. Bayer. Hof- u. Erzherzogl. Kammer-Buchhandlung.
1903.

Digitized by Google

Alle Rechte, namentlich das der Übersetzung, vorbehalten.

Digitized by Google

114996
FEB 3 1908
6705577
TQW
.B33

Vorwort.

Die für die Praxis höchst bedeutsamen Ergebnisse der neueren elektrophysikalischen Forschung nötigten die Wissenschaft, einen grossen Teil ihrer Arbeit, noch ehe sie zu einem eigentlichen Abschlusse gekommen wäre, der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Es trat damit eine Aufgabe an die Technik heran, die einen gänzlich unvorbereiteten Boden fand. Denn die Grundlagen und Hilfsmittel der neuen Gebiete liegen dem bisherigen Wirkungskreise der meisten, namentlich älteren Kollegen so fern, dass sie gezwungen sind, sich von Grund aus in die neue Materie einzuarbeiten. Ähnlich ergeht es aber auch den Studierenden und vielen Lehrern, die die solange unausgebauten Zweige der Elektrizität nunmehr in ihr Lehr- resp. Lernpensum aufnehmen müssen, ganz abgesehen von der diesmal aussergewöhnlich grossen Zahl Laien, deren Interesse durch die Eigenart der Phänomene erregt ist.

Den Ansprüchen aller dieser Kreise, wenigstens bis zu einem gewissen Grade, Rechnung zu tragen, war die Absicht, die mich bei der Abfassung der vor-

Digitized by Google

liegenden Arbeit leitete. Den Technikern, Lehrern und Studierenden soll sie eine kleine Grundlage schaffen, von der aus sie, ohne zuweit zurückgreifen zu müssen, in das Spezialstudium eintreten können, dem Laien aber dürfte sie einen ausreichenden Überblick über die bisherigen Resultate gewähren.

Etwas einigermassen Abgeschlossenes zu bieten, war bei dem heutigen Stande der Dinge selbstverständlich noch nicht möglich, nicht einmal in textlicher Hinsicht; denn häufig warf das Heute um, was das Gestern zeitigte. Ich hoffe aber trotzdem, dass das aus dem letztgenannten Grunde zu einer kleinen Sisyphusarbeit gewordene Buch seinen Zweck erfüllen wird.

Berlin, im Mai 1903.

Heinz Bauer, Ing.

Digitized by Google

Inhalts-Verzeichnis.

Seite

Einleitung 1

Die elektrischen Schwingungen und die Telegraphie ohne Draht

Der elektrische Zustand 4

Die Influenzmaschine 5

Die Leydener Flasche 7

Das Induktorium 9

Oscillierende Entladungen 14

Elektrische Wellen 17

Das Wesen der elektrischen Wellen . 37

Die Telegraphie ohne Draht . . . 45

Kathoden- und Röntgenstrahlen

Geisslerröhren 121

Kathodenstrahlen 126

Röntgenstrahlen 149

Bequerelstrahlen 156

Die Entwickelung der Röntgenstrahlentechnik 163

Teslaströme und Teslalicht 199

Nachtrag 215

Alphabetisches Verzeichnis 225

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

Als im Jahre 1879 mit der Erfindung der Glühlampe die letzte Schranke zwischen der neuen Kraft und der Allgemeinheit gefallen war, brachte uns bald ihre junge Industrie, die Elektrotechnik, eine Hochflut von Konstruktionen, die der Elektricität immer weitere Gebiete erschloss und sie in so kurzer Zeit auf den Standpunkt ihrer heutigen Vollkommenheit gelangen liess.

Dieser immensen Arbeitsleistung der Praktiker steht aber auch eine nicht minder glückliche Schaffensperiode der Forscher gegenüber. Hochwichtige Entdeckungen, deren Tragweite vorläufig noch garnicht zu übersehen ist, verliessen in dem erwähnten Zeitabschnitt das Laboratorium. So in erster Reihe die wunderbaren Arbeiten eines Heinrich Hertz.[1]) Leider wurde jener

[1]) **Heinrich Rudolph Hertz, geb. am 22. Februar 1857, studierte Physik in München und Berlin, wo er Assistent bei Helmholtz wurde. Er habilitierte sich 1883 in Kiel als Privatdozent für theoretische Physik, wurde 1885 als Professor der Physik nach Karlsruhe, 1889 in gleicher Eigenschaft nach Bonn berufen. Er starb am 1. Januar 1894 in Hamburg. Seine gesammelten Werke sind — drei Bände stark — in Leipzig erschienen.**

Digitized by Google

Geistestitan mitten im Schaffen — noch ehe er die Früchte seiner Thätigkeit einheimsen konnte — im Alter von 37 Jahren durch den Tod abberufen, und so kennt der Nichtphysiker selten mehr wie seinen Namen, aber die Beweise seines Genies begegnen ihm in den Arbeiten fast aller moderner Forscher, drahtlose Telegraphie, Teslalicht und Röntgenstrahlen zeugen von ihm, und die neue Welt der Erscheinungen, die er uns erschloss, bildet eine Grundlage, auf der sich die meisten Erfindungen der Zukunft aufbauen werden.

Aber das, was Hertz geleistet, hat wissenschaftlich noch eine ganz besondere Bedeutung. Er hat die Lösung jenes Problems, das alle Physiker beschäftigt, greifbar nahe gerückt, indem er das, was Faraday [1]) geahnt und Maxwell [2]) mathematisch berechnet, uns experimentell bewiesen hat: Die Beziehungen der Elektricität zum Licht. Er hob damit als Erster wirklich jenen Schleier, der das geheimnisvolle Wesen der Elektricität umgiebt. — Es ist eine sonderbare Thatsache, dass eine derartige Fülle geistreichster Anwendungen der Elektricität statt-

---

[1]) Michael Faraday, Chemiker und Physiker, geb. am 22. September 1791 zu Nevington Butts bei London als Sohn eines Hufschmieds, wurde zunächst Buchbinder, erhielt dann durch den englischen Physiker Humphry Davy den Posten eines Assistenten am physikalischen Laboratorium der Royal Institution, wo er 1824 Professor der Chemie wurde. Gest. am 25. August 1867 in Hampton-Court.

[2]) James Clark Maxwell, geb. 1831 in Edinburg, wurde 1856 Professor der Physik am Marishal College in Aberdeen, übernahm 1871 den Lehrstuhl für Experimental-Physik an der Universität in Cambridge, wo er am 5. November 1879 starb.

Digitized by Google

gefunden hat, ohne dass man sich über diese selbst klar geworden wäre. Um sich einen Begriff von ihr zu machen, war man gezwungen, zu Vorstellungen seine Zuflucht zu nehmen, die zwar den Vorgang ganz gut deckten, aber doch nicht über die innere Unwahrheit hinwegtäuschten.

Hier wurzelt nun das unsterbliche Verdienst Hertz's. Er hat — jedem erreichbar — die Pfade angegeben, die in jenes dunkle Gebiet führen, und wenn sie auch noch nicht ihrer ganzen Länge nach passierbar sind, unablässige Arbeit werden sie ebnen und eines — hoffentlich nicht mehr allzu fernen — Tages „ziehen wir durch die sichre Pforte zum Tempel der Gewissheit ein".

Digitized by Google

Die elektrischen Schwingungen und die Telegraphie ohne Draht.

Der elektrische Zustand.

Wie bereits in der Einleitung bemerkt, breitet sich über das eigentliche Wesen der Elektricität noch geheimnisvolles Dunkel. Um nun zu einer Erklärung ihrer Erscheinungen zu kommen, hatten zwei Anschauungsweisen Platz gegriffen, und zwar die 1759 von Symmer aufgestellte dualistische Theorie, die wir hier aber unberücksichtigt lassen wollen, und die unitarische Theorie, von Franklin und Äpinus aus dem Jahre 1750 herrührend, die den nachstehenden Erklärungen zu Grunde liegt, da sie das Vorstellungsvermögen wesentlich unterstützt.

Denken wir uns die Elektricität als eine Art Fluidum, das alle Körper gleichmässig durchdringt und zwar für gewöhnlich in einer bestimmten Dichtigkeit. Wir können in diesem normalen Zustand Körper als unelektrisch bezeichnen, da wir nichts besonderes an ihnen wahrzunehmen vermögen. Ist jedoch das Fluidum, abweichend von seiner gewöhnlichen Stärke, komprimiert oder verdünnt in einem Körper vorhanden, so nennen

Digitized by Google

wir ihn elektrisch, und zwar im ersteren Falle „positiv“, im letzteren „negativ“ elektrisch. — Bringt man zwei derartig verschieden gefüllte oder — wie der Elektriker sagt — geladene Körper zusammen, so werden sie bestrebt sein, sich zu neutralisieren, d. h. einer sich auf Kosten des anderen in den normalen unelektrischen Zustand zu versetzen. Es wird also der positive Körper etwas von seinem Überfluss in die Leere des negativen Körpers hinüber strömen lassen. Besteht zwischen beiden Körpern eine gut leitende, also am besten metallische Verbindung, so werden wir meistens von diesem Ausgleich nicht viel wahrnehmen. Sind jedoch beide durch eine Luftstrecke getrennt, so wird sich die überschüssige Menge aus dem positiven Körper, d. h. wenn sie genügend Druck oder — elektrisch ausgedrückt — Spannung besitzt, in Form eines Funkens zum negativen Körper Bahn brechen.

Wir können diese Erscheinung in einfachster Weise beobachten, wenn wir einen Glasstab oder eine Siegellackstange durch Reiben mit einem wollenen Lappen elektrisch gemacht haben. Schon durch Heranhalten des Fingers können wir diesen kleine, knisternde, im Dunkeln sichtbare Funken entziehen.

Die Influenzmaschine.

Um derartige Funkenentladungen kräftiger und auf bequemere Weise hervorzurufen, bedient man sich verschiedener Mittel. — So in erster Reihe der im

Digitized by Google

Jahre 1865 von Holtz[1]) erfundenen, und 1879 von Töpler[2]) verbesserten Influenzmaschine, (Figur 1)[3].)

Dieser Apparat besteht im Wesentlichen aus zwei runden Glasscheiben, von denen die eine feststeht,

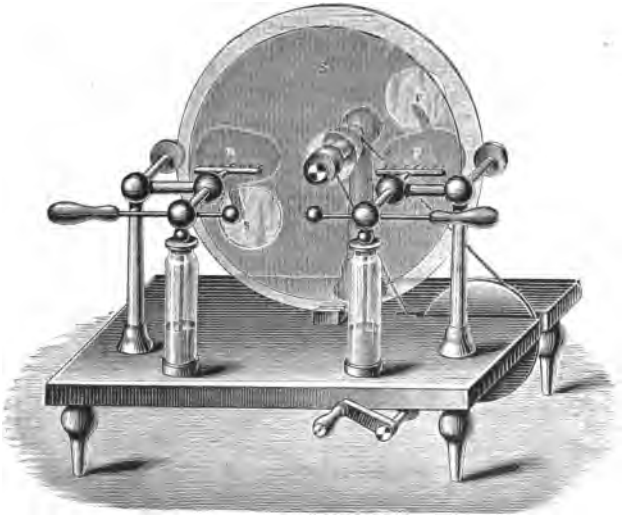


Fig. 1.

[1]) Wilhelm Holtz, geb. den 15. Oktober 1836 zu Saatel bei Barth seit 1884 Professor in Greifswald.

[2]) August Töpler, geb. den 7. September 1836 in Brühl bei Köln, seit 1876 Professor, Direktor des Physikalischen Institutes der Dresdener Hochschule.

[3]) Influenzmaschinen sind in neuerer Zeit auch von Wimshurst, Gläser, Lisser, W. Thomson u. a. konstruiert worden.

Digitized by Google

während die andere mittelst einer Kurbel und eines Schnurlaufs in schnelle Rotation gesetzt werden kann. Die feststehende Scheibe (S) hat zwei symmetrisch gelegene Löcher (s r), und an jedem Loch ist ein kürzerer Streifen Kartonpapier aufgeklebt, derart, dass die Spitze des Papiers in das Loch hineinragt. Während der Drehung wird nun die Papierbelegung unter Vermittelung der Glasscheiben abwechselnd positiv und negativ elektrisch, und dieser Zustand teilt sich zwei feststehenden Metallkämmen (n p), die die bewegliche Scheibe streifen, mit, jedoch in der Weise, dass der eine stets positive, der andere stets negative Ladung aufnimmt. Leitend verbunden mit den Kämmen sind zwei sich gegenüberstehende Metallkugeln, sogenannte Kugelkondensatoren. Hat nun die in der positiven Kugel aufgespeicherte Elektricitätsmenge genügende Spannung erlangt, so wird sie — wenn die dazwischen liegende Luftstrecke nicht zu gross ist — in Form eines Funkens zur negativen Kugel überspringen. Bei konstanter Drehung erhält man so eine ununterbrochene Reihe Entladungen, die bei grösseren Maschinen eine Länge von 30 Centimetern und mehr haben können.

Die Leydener Flasche.

Eine in vorstehender Weise erzeugte Elektricitätsmenge braucht jedoch nicht sofort zur Entladung zu kommen. Sie lässt sich auch aufspeichern und zwar

Digitized by Google

in der Leydener Flasche (Figur 2), genannt nach der holländischen Stadt Leyden, wo sie im Jahre 1745 von Cuneus und Musschenbroek erfunden wurde.[1])

Ein Behälter aus Glas ist innen und aussen etwa bis zur Hälfte seiner Höhe mit Staniol (Zinnfolie) belegt. Mit der inneren Belegung steht ein aussen befindlicher Metallknopf in leitender Berührung. Ver-

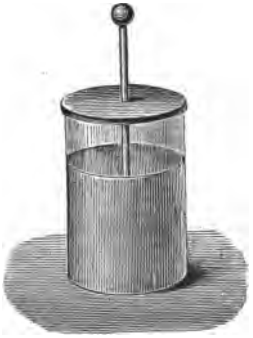


Fig. 2.

bindet man diesen Knopf durch einen Draht mit dem positiven Kugelkondensator der Maschine, und die äussere Belegung mit dem negativen oder auch der Erde, wodurch dasselbe erreicht wird, so wird an den Glasflächen der Flasche Elektricität gebunden, und es findet erst eine Entladung statt, wenn man der

[1]) **Fast zu gleicher Zeit fand auch der Domherr v. Kleist zu Kammin in Pommern die Wirksamkeit einer solchen Flasche.**

Digitized by Google

letzteren durch einen leitenden Weg von der inneren zur äusseren Belegung die Möglichkeit bietet, sich auszugleichen.

Handelt es sich um die Aufspeicherung grösserer Mengen, so lassen sich auch mehrere dieser Flaschen zu einer Batterie vereinigen in der Art, dass alle inneren Belegungen und ebenso alle äusseren Belegungen mit einander leitend verbunden sind.

Das Induktorium.

Die weitaus bequemste Art Funkenentladungen zu erzeugen, bietet uns jedoch das am meisten verwendete Induktorium [1]), häufig auch kurzweg nach seinem Konstrukteur „Ruhmkorff“ genannt.

Seine Wirkung beruht auf einer eigentümlichen — „Induktion“ genannten — Eigenschaft der Elektricität. Wird in einer Leitung ein Strom geschlossen oder geöffnet — also beim Ein- und Ausschalten — so entsteht in einer zweiten vollkommen unabhängigen Leitung, die sich in der Nähe befindet, ebenfalls ein Strom. Denken wir uns also eine mit Draht bewickelte Rolle (a, Figur 3), die mit einer Stromquelle (D) — Dynamomaschine oder Elementen — verbunden ist, in der Weise, dass der Strom den Draht bei geschlossener Leitung durchfliessen kann, und diese Rolle in eine

[1]) Erfunden im Jahre 1851.

Digitized by Google

zweite Drahtrolle (b) wie in ein Futteral hineingesteckt, so wird beim Schliessungs- und Öffnungsmoment des Ausschalters (c) in dem Draht der äusseren Rolle ein Strom entstehen, ohne dass dieser Draht irgendwie mit dem der inneren Rolle in Berührung kommt. Da nun dieser sekundäre Strom im ersteren Falle eine dem primären Strom entgegengesetzte Richtung aufweist, während er beim Ausschalten diesem entsprechend gerichtet ist, so wird er bei dauerndem Schliessen und

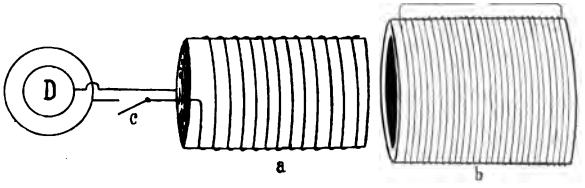


Fig. 3.

Öffnen des Primärstromkreises als ein konstanter, sogenannter „Wechselstrom" in Erscheinung treten.

Diesen Vorgang hat man im Induktorium (Figur 4) nutzbar gemacht. Man bewickelt die mit der Stromquelle verbundene Rolle — „Primärspule" genannt — mit wenigen Windungen eines dicken Drahtes, der also eine möglichst grosse Elektricitätsmenge fasst, hingegen die „Sekundärspule" — das ist die äussere Rolle — mit zahlreichen Windungen feinen Drahtes. Der letztere vermag naturgemäss nur einen ganz dünnen Strom in

Digitized by Google

sich aufzunehmen, der jedoch eine äusserst hohe Spannung besitzt, da diese wiederum von der Zahl der Windungen abhängig ist. Die beiden Drahtenden der sekundären Spule führen entweder direkt zu zwei Kugelkondensatoren, die, durch eine Luftstrecke von

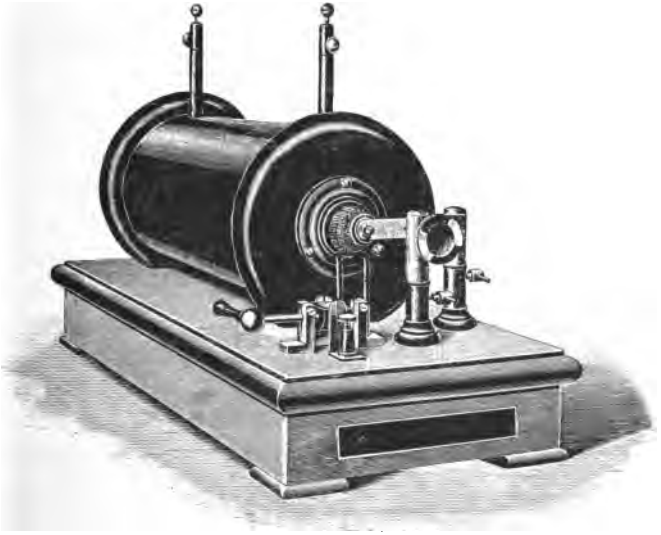


Fig. 4.[1])

einander getrennt, auf dem Hartgummimantel befestigt sind, der die beiden ineinander geschobenen Rollen umgiebt, oder auch zu zwei Anschlussklemmen, mit

[1]) Nach einer Konstruktion von Ferdinand Ernecke, Berlin, S. W. Über konstruktive Einzelheiten vergl. Kapitel „Röntgenstrahlentechnik".

Digitized by Google

denen ein Paar Kugelkondensatoren — zu einem sogenannten „Auslader“ (Figur 5) vereinigt — durch Zuleitungsdrähte verbunden sind.

Die wichtigste Einrichtung an dem Apparat ist der Unterbrecher, der das Öffnen und Schliessen des Stromes selbstthätig zu besorgen hat. Zahlreich verwendet findet man den sogenannten Neefschen Hammer (Figur 6), der die folgende Einrichtung aufweist: Der

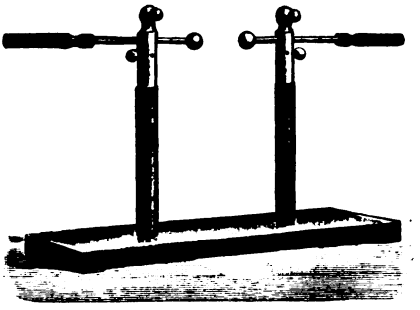


Fig. 5.

von der Stromquelle kommende Draht umschlingt zwei Eisenklötzchen (a und b) und geht dann zu einem Stift (c) weiter, den ein federndes Stahlband (d) berührt. Dieses Band stellt durch die Berührung die Verbindung mit der Weiterleitung her, so dass der Strom kursieren kann. Nun wird aber ein vom Strom umflossenes Eisenstück zum Magneten, folglich werden die beiden mit dem leitenden Draht bewickelten Eisenklötzchen

Digitized by Google

(a und b) das Stahlband mit Hilfe einer kleinen Eisenplatte (e), die dieses am Ende trägt, von dem Stift (c) abziehen und der Strom wird dadurch unterbrochen. Sofort verlieren die Klötze den Magnetismus und lassen das Band los, das wieder gegen den Stift schlägt und dort aufs neue eine Verbindung herstellt, so dass die Klötze wieder magnetisch werden. Und nun wiederholt sich ununterbrochen dasselbe Spiel.[1]) — Da bei sehr hohen Spannungen und starken

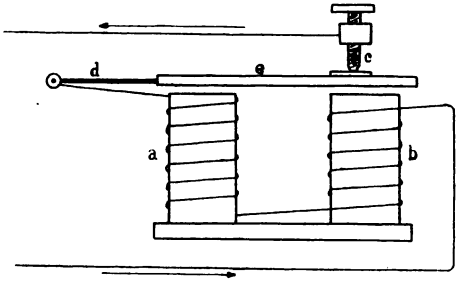


Fig. 6.

Strömen an der Berührungsstelle zwischen Stahlband und Stift leicht Funken auftreten könnten, ist in diesem Fall die Vorrichtung dahin abgeändert, dass an dem Stahlband ein Stift befestigt ist, der in ein Gefäss mit Quecksilber taucht und in dieser Weise die Verbindung herstellt.[2])

[1]) Ein derartiger Neefscher Hammer unterbricht etwa 15—20 mal in der Sekunde.

[2]) Weitere Unterbrecher sind im Kapitel „Röntgenstrahlen-Technik" beschrieben.

Digitized by Google

Zur Unterstützung des durch diese Einrichtung unterbrochenen Hauptstromes ist in das Innere der Primärspule ein Kern aus weichem Eisen gesteckt, der ebenfalls, den Unterbrechungen entsprechend, Magnetismus erhält und verliert und so die inducierende Wirkung auf die Sekundärspule wesentlich erhöht. — Wird nun der Unterbrecher in Thätigkeit gesetzt, so findet zwischen den beiden Kugelkondensatoren, d. h. wenn die zwischen ihnen liegende Luftstrecke nicht zu gross ist, ein fortwährender elektrischer Ausgleich in Funkenform statt.

Oscillierende Entladungen.

Genaue Untersuchungen haben ergeben, dass diese Entladungen doch nicht ein einfaches Hinüberströmen elektrischen Überflusses sind, sondern der Vorgang entspricht mehr dem folgenden Bilde: Denken wir uns einen Behälter, etwa eine Wanne, durch eine Wand in der Mitte geteilt, die eine Hälfte ziemlich hoch mit Wasser gefüllt, die andere leer, und nun plötzlich die Schranke in der Mitte fortgenommen, dann wird bei der grossen Gewalt des Ergusses zunächst zu viel Wasser in die leere Hälfte hinüberfluten, darauf wird ein mehrmaliges Hin- und Herschwanken der Flüssigkeit stattfinden und erst allmählich wird sich das Wasser gleichmässig verteilen. — Allerdings können wir der elektrischen Erscheinung nicht die gleiche Ursache, wie dem Vorgang beim Wasser, unterschieben. Das Wasser

Digitized by Google

besitzt ein sogenanntes Beharrungsvermögen, d. i. eine gewisse Zusammengeschlossenheit, die den Ausgleich erschwert. Aber nichts berechtigt uns, auch der Elektricität ein Beharrungsvermögen zuzuschreiben, es sind vielmehr die untrennbar mit den elektrischen Erscheinungen auftretenden magnetischen Kräfte, die ein derartiges Hin- und Herschwanken des elektrischen Zustandes veranlassen.[1])

Für das Vorhandensein solcher „oscillierender Entladungen", wie sie wissenschaftlich bezeichnet werden, hat man unzweideutige Beweise.[2]) Taucht man in Wasser, dem man etwas Schwefelsäure zugesetzt hat, zwei Metallplatten, die man mit den verschiedenen Polen einer Stromquelle, z. B. einer Batterie von Leydener Flaschen verbunden hat, so wird sich das Wasser in seine chemischen Bestandteile zersetzen und zwar wird sich der Sauerstoff an der positiven Platte und der Wasserstoff an der negativen Platte abscheiden. Trotzdem findet man an beiden Stellen auch das Produkt der entgegengesetzten Platte.

---

[1]) Nach der Faraday-Maxwellschen Anschauung (siehe Seite 17) spielt sich der Vorgang etwa in folgender Weise ab: Die magnetischen Kräfte, die wir uns als Spannungen im Äther vorstellen müssen, umlagern kreisförmig die die Entladung unmittelbar mitmachenden leitenden Teile. Sie sind stets proportional der angesammelten Stromstärke, so dass sie im Augenblick der Entladung ihre grösste Kraft haben. Durch das Bestreben, nach dieser wieder zurückzutreten, rufen sie in den betreffenden Leitern Induktionsströme hervor, die ihrerseits wieder die unmittelbare Ursache der entgegengesetzten Ladungen sind.

[2]) Der erste Nachweis rührt von Joseph Henry aus dem Jahre 1842 her.

Digitized by Google

Sehr deutlich tritt die Erscheinung auch bei einem Experiment zu Tage, das Geheimrat Paalzow von der Charlottenburger Hochschule zum Autor hat. Lässt man eine elektrische Entladung durch eine mit verdünnter Luft gefüllte Glasröhre (sogenannte Geisslerröhre) gehen, wodurch ein leuchtender Streifen erzeugt wird, und unterwirft diesen der ablenkenden Wirkung eines Magneten, so wird sich der Streifen in zwei Teile zerlegen, die nach verschiedenen Richtungen abgelenkt werden, was sich niemals mit einem einheitlich gerichteten Strom erzielen liesse.

Am überzeugendsten wirken aber die von Feddersen im Jahre 1860 gemachten Photographien elektrischer Entladungen, in einem schnell rotierenden Spiegel betrachtet. Während das Bild einer Flamme dabei als ein ununterbrochenes, leuchtendes Band erscheint, zeigt sich beim Entladungsfunken, dass dieser aus vielen einzelnen Funken, die die entgegengesetzte Entladerichtung deutlich erkennen lassen, zusammengesetzt ist.[1])

---

[1]) Die Theorie der oscillierenden Entladung ist von William Thomson und Kirchhoff entwickelt worden. Ihr Gang ist kurzgefasst folgender: Weist ein Kondensator, dessen Kapacität c ist, bei Ladung mit einer Elektricitätsmenge e das Potential v auf, so ist nach der Definition der Kapacität

$$e = c \cdot v$$

Nun sei der betreffende Kondensator identisch mit der inneren Belegung einer Leydener Flasche, deren äussere Belegung durch ständige Ableitung zur Erde zwangsweise das Potential Null erhält. Bei einer Entladung vermindert sich e in dem Zeitraum dt — wenn t die Zeiteinheit dar-

Digitized by Google

Elektrische Wellen.

Um die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts tauchte nun eine Theorie auf, die kurzer Hand die dualistische und unitarische Anschauungsweise über den Haufen warf, indem sie auffallende Übereinstimmungen zwischen der Elektricität und dem Licht finden wollte, ja beide direkt als eine und dieselbe Erscheinung hinstellte. Kein Fluidum, sondern ringförmig um den Leiter stattfindende Verschiebungen im Äther, jenem Medium, das

---

stellt — um $-de$, wobei dieses $-de$ der durch den Schliessungsdraht abfliessenden Stromstärke i entspricht, oder mathematisch ausgedrückt

$$i\,dt = -de.$$

Dafür können wir, wenn wir obige Gleichung in Betracht ziehen, setzen

$$i = -c\frac{dv}{dt} \tag{1}$$

Nun ist aber nach dem Ohmschen Gesetz $i.r = \Sigma EMK$ d. h. also Stromstärke mal Widerstand im Schliessungsdraht gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte in ihm; diese letzteren bestehen in unserem Fall aus der Potentialdifferenz v zwischen den beiden Enden und der Selbstinduktion, die sowohl dem Differentialquotienten von i nach der Zeit t, wie dem Selbstinduktionskoefficienten S des Schliessungsdrahtes proportional ist, so dass wir haben

$$ir = v - S\frac{di}{dt} \tag{2}$$

Bei einer Differenzierung nach t und Einsetzung des Wertes für dv/dt ergiebt sich für i die Differentialgleichung

$$Sc\frac{d^2i}{dt^2} = -rc\frac{di}{dt} - i \tag{3}$$

Ist nun der Widerstand des Schliessungsdrahtes r gleich Null, so sind die Oscillationen unbeschränkt fortdauernde, da dann die in dieser Theorie

Digitized by Google

uns auch das Licht übermittelt, sollten die Erscheinung des elektrischen Stromes herbeiführen und zwar stützte sich diese Annahme im wesentlichen auf die jeden elektrischen Vorgang begleitenden magnetischen Kräfte, die auf eine unmittelbare Mitwirkung des Äthers hinwiesen.

Es war dies die sogenannte elektromagnetische Lichttheorie der Engländer Faraday und Maxwell, zu der der erstgenannte Forscher durch seine konsequent festgehaltene Vorstellung den ersten Anstoss gab und die sein kongenialer Landsmann nach allen Richtungen hin mathematisch vertiefte. Sie entbehrte aber der Hauptsache, des überzeugenden, experimentellen Beweises und so gelang es ihr nur schwer, festen Fuss zu fassen. Eine bedeutende Stütze erhielt sie jedoch,

---

allein vorgesehene Dämpfung durch Wärmeentwicklung im Schliessungsdraht nicht eintreten kann. Die obige Gleichung 3 gilt also nur für gedämpfte Schwingungen, wenn $r^2 < 4S/c$, oder bei aperiodischer Bewegung $r^2 > 4S/c$. Die Dauer einer Halbschwingung beträgt dann allgemein

$$\tau = \pi \sqrt{Sc} / \sqrt{1 - r^2 c/4S}$$

oder wenn r klein ist

$$\tau = \pi \sqrt{Sc}$$

als gebräuchlichste Formel. — In Wirklichkeit findet allerdings eine Dämpfung durch Ausstrahlung der im nächsten Kapitel beschriebenen Hertz'schen Wellen statt, dieser Umstand ist aber nur von Maxwell berücksichtigt worden. Dass die obige Theorie trotzdem richtig ist, namentlich was die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von Kapacität und Selbstinduktion anbetrifft, ist durch eingehende Versuche, in erster Reihe von Lorenz im Jahre 1879, bestätigt worden.

Digitized by Google

als der grosse deutsche Physiker Helmholtz[1]) sich in wesentlichen Punkten als ihr Anhänger bekannte und eifrig bemüht war, die fehlende Lücke auszufüllen. Der experimentelle Nachweis eines besonders charakteristischen Merkmales musste entscheidend für die elektromagnetische Lichttheorie wirken: Da das Licht — wie feststeht — sich als eine wellenförmige Bewegung im Äther[2]) fortpflanzt, so musste sich auch bei elektrischen Vorgängen eine entsprechende Beeinflussung des Äthers in Wellenform nachweisen lassen. — Dies jedoch schlug Helmholtz fehl. Sein Glaube aber an die Richtigkeit der Faraday-Maxwellschen Anschauung war dadurch keineswegs erschüttert und er veranlasste in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, dass ein Preisausschreiben zur einwandfreien Lösung des in Frage stehenden Punktes veranstaltet wurde. Aber auch dieses zeitigte ein negatives Resultat.

Erst zehn Jahre später erkannte Hertz, damals Professor in Karlsruhe, die Umstände, welche an den

[1]) Herrmann Helmholtz, geb. 1821 in Potsdam, war erst Militärarzt, dann Professor in Königsberg, Bonn, Heidelberg und Berlin, wo er im Jahre 1883 Präsident der Physikalisch-technischen Reichsanstalt wurde. Sein Thätigkeitsgebiet umfasste Medicin, Physiologie, Physik und Mathematik. In den erblichen Adelsstand erhoben, starb er am 8. September 1894 zu Berlin.

[2]) Nach der von Huyghens (1690) ausgearbeiteten und später namentlich von Fresnel (1827) vervollkommneten Undulationstheorie, die durch zwingende Beweise die früher geltende Emanationstheorie Newtons verdrängte. Die letztere lehrte, dass Lichtstrahlen aus leuchtenden Materieteilchen bestehen, die von einem Lichtpunkt aus nach allen Richtungen hin weggeschleudert würden.

Digitized by Google

Misserfolgen seiner Vorgänger schuld waren. Die Elektricität pflanzt sich nämlich — wie Werner von Siemens[1]) im Jahre 1875 durch Versuche festgestellt hatte — mit einer Geschwindigkeit von etwa 300000 Kilometer[2]) in der Sekunde fort. Benutzte man nun zur Beobachtung den Entladungsfunken einer Leydener Flasche, der seine Richtung etwa eine Million mal in der Sekunde ändert, so kommen auf jeden Wechsel, mithin auf die etwa vorhandene Welle 300 Meter, eine Länge, die ein sicheres Erkennen der Natur der Erscheinung von vornherein ausschliessen musste. — Wollte man zum Ziele gelangen, so galt es, die Frequenz der zur Anwendung kommenden Wechselströme mindestens um das hundertfache zu erhöhen.

Wie nun die Thomson-Kirchhoffsche Theorie der oscillierenden Entladung[3]) ergab, ist die Schwingungsdauer abhängig von der Capacität, d. i. dem Fassungsvermögen des verwendeten Apparates und der Selbst-

---

[1]) Werner Siemens, geb. am 13. Dezember 1816 in Lenthe bei Hannover, wurde zuerst Artillerieoffizier, nahm 1848 seinen Abschied und trat in die von ihm 1847 mit dem Mechaniker Halske gegründete Telegraphenbauanstalt ein. 1860 Ehrendoktor der Berliner, 1886 der Heidelberger Universität, wurde er 1888 in den erblichen Adelsstand erhoben. Er starb am 6. Februar 1892.

[2]) Der eigentliche Wert, den Siemens fand, betrug 260000 Kilometer pro Sekunde. Aber die Messung wurde durch die im Abschnitt über Teslaströme beschriebene Impedanzerscheinung verunreinigt, so dass die thatsächliche Grösse der oben angegebenen Zahl entspricht.

[3]) Siehe Seite 16.

Digitized by Google

induktion[1]) in der Entladungsleitung. Sie ist um so kürzer, je kleiner diese beiden Faktoren sind. Durch Berücksichtigung dieses Umstandes glückte es Hertz im Jahre 1889 thatsächlich, Schwingungen von gewünschter Dauer zu erzielen und durch sie die noch immer schwebende Aufgabe in glänzender Weise zu lösen.

Er verwendete für seine Versuche ein Induktorium, das mit einem Auslader verbunden war, der als kurzer grader Leiter nur eine ganz unwesentliche Selbstinduktion aufweist. Die beiden Kugelkondensatoren dieser Vorrichtung, deren Capacität ebenfalls erheblich kleiner ist als die der Leydener Flaschen, waren sich bis auf einen ganz kurzen Zwischenraum genähert, um nicht durch einen zu grossen Luftwiderstand das Zustandekommen der Oscillationen unnötig zu erschweren oder gar ganz zu verhindern. Wie die Untersuchung mit einem rotierenden Spiegel ergab, kamen durch diese Einrichtung Entladungen zu stande, die cirka 100 Millionen Schwingungen in der Sekunde aufweisen, so dass es Hertz mit nur drei Meter langen Wellen — später sogar mit noch bedeutend kürzeren — zu thun hatte. Dass es sich nun wirklich

[1]) Die Selbstinduktion tritt als ein störender, sogenannter Extrastrom im Leiter in Erscheinung. Dieser Extrastrom ist beim Schliessungsmoment dem Hauptstrom entgegengesetzt gerichtet und schwächt daher dessen Intensität, sodass derselbe erst allmählich seinen vollen Wert erreicht, und umgekehrt ist er beim Öffnen gleichgerichtet, wodurch das Aufhören des Hauptstromes verzögert wird. Gewisse Formen des Leiters, z. B. Spiralen, begünstigen den Vorgang der Selbstinduktion.

Digitized by Google

um eine wellenförmige Bewegung im Äther handelte, konnte Hertz durch das Vorhandensein von Resonanz nachweisen. Mit Resonanz bezeichnet man in der Akustik eine Eigenschaft, die durch die Schallwellen der Töne hervorgerufen wird. Singen wir z. B. in ein geöffnetes Klavier bei aufgehobener Dämpfung kräftig einen Ton, so wird die diesem Ton entsprechende Saite, deren

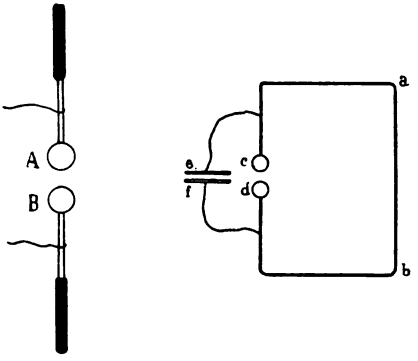


Fig. 7.

Schwingungen also genau mit denen des Gesanges übereinstimmen, aber nur diese eine, mitklingen. Hertz hatte seinem Auslader (A B Figur 7) gegenüber eine völlig selbständige Leitung (c a b d), die ebenfalls in zwei durch eine Luftstrecke getrennte Kugelkondensatoren (c d) endigte. Beide Kugeln waren mit zwei verschiebbaren Metallplatten (e f) verbunden. Liess er

Digitized by Google

nun zwischen A und B Funken überspringen, so wurde die zweite Leitung ebenfalls von einem Strom durchflossen, der bei a und d funkenförmig zum Ausgleich kam. Und zwar war die Erscheinung bei einer ganz bestimmten Stellung der Platten e und f besonders kräftig, jede Veränderung aber durch Näherbringen oder Entfernen der letzteren schwächte sie

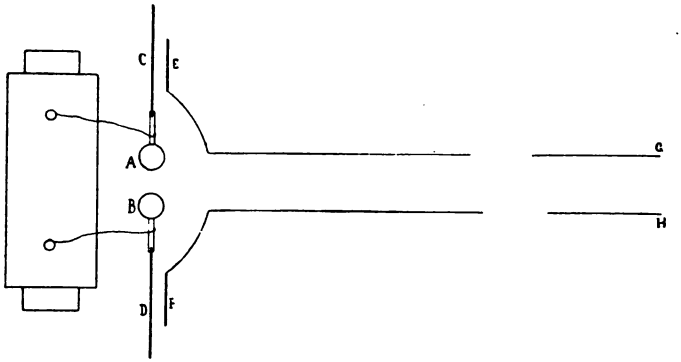


Fig. 8.

ausserordentlich. Veränderte Hertz den Eigenton des Resonators, dadurch, dass er die Leitung c a b d etwa vergrösserte, so musste er auch e und f wieder besonders einstellen, um kräftige Funken zu erhalten.

Obgleich nun diese Übereinstimmung mit den Tönen die Wellennatur der Erscheinung ausser jeden Zweifel stellte, hatte unablässiges Suchen nach weiteren, überzeugenden Merkmalen den Erfolg, das Phänomen

Digitized by Google

direkt nachweisbar zu machen. Zunächst kam es darauf an, die Erscheinung zu lokalisieren, und da wussten sich Hertz und — weiterbauend — spätere Forscher in folgender Weise zu helfen: Die beiden Kugelkondensatoren eines Ausladers (A und B, Figur 8), zwischen denen die Entladung vor sich geht, sind mit zwei Blechplatten C und D verbunden, deren jede den jeweiligen elektrischen Zustand ihres Kondensators teilt. Und in einem kleinen Abstand vor diesen sind zwei kleinere Auffangeplatten aufgestellt, die beide einen längeren Draht tragen. Da nun Metall ein weit besserer

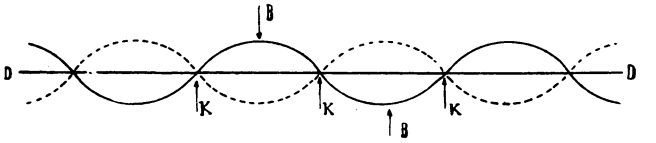


Fig. 9.

Leiter wie Luft für die Elektricität ist, so rollen beim Funkenübergang die Wellen die Drähte entlang. Wo diese zu Ende sind, kommt es zu einer Stauung der Wellen, ein Rückfliessen findet statt und es entstehen sogenannte „stehende Wellen", wie wir sie in Figur 9 sehen. Die Wellenbäuche (B) schwingen längs des Drahtes (D) aus der starken Stellung in die punktierte immer hin und her, während die Knotenpunkte (K) unverändert stehen bleiben. — Es befinden sich nun auf beiden Drähten stets zwei Knotenpunkte oder zwei

Digitized by Google

Bäuche gegenüber und zwar weisen die letzteren stets die entgegengesetzte Ladung auf, während die Knoten vollkommen unelektrisch erscheinen[1]), so dass sich etwa das folgende Bild (Figur 10) ergiebt.

Allerdings entsteht von vornherein neben einer Hauptwelle noch ein Gewirr von Nebenwellen, ebenso wie etwa eine angestrichene Violinsaite zunächst einen durch viele Nebentöne unreinen Ton giebt. Erst eine

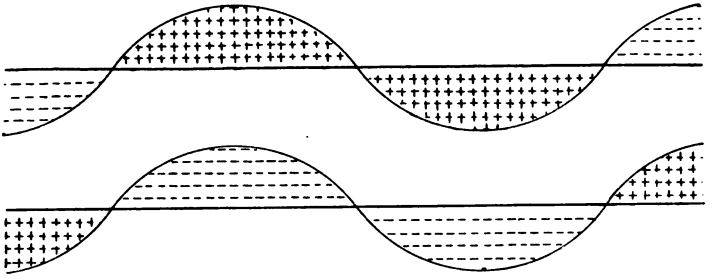


Fig. 10.

Berührung der Saite mit dem Finger ermöglicht die Bildung eines einzigen Tones und zwar desjenigen, der an der betreffenden Stelle seinen Knotenpunkt hat. — Ein ganz gleiches Verfahren ist nun von Prof. Lecher in Prag für elektrische Wellen zur Anwendung ge-

[1]) Es beziehen sich nämlich die angeführten Knoten und Bäuche nur auf Spannungsminima und Spannungsmaxima, der Wert der Stromstärke steht im umgekehrten Verhältnis; er ist in der Nähe der Knoten am grössten, in der Bauchmitte am kleinsten.

Digitized by Google

kommen, nur nimmt die Stelle des Fingers bei ihm die sogenannte Brücke (Figur 11) — ein an einem Holzgriff befestigter Drahtbügel — ein. Verbindet er durch den Metallbügel die beiden Drähte mit einander, so wird nur diejenige Welle bestehen bleiben, die an der Verbindungsstelle ihren feststehenden, neutralen Knotenpunkt hat, während alle anderen Wellen infolge des sich gegenüberstehenden, entgegengesetzt elektrischen Zustandes durch den leitenden Weg ausgeglichen und dadurch vernichtet werden. Trifft man mit der Brücke

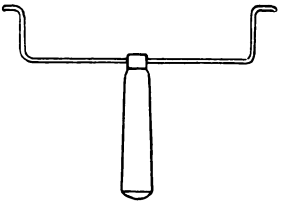


Fig. 11.

nicht gleich einen Knotenpunkt, so werden zunächst sämtliche Wellen zerstört werden, jedoch lässt sich durch ein einfaches Hin- und Herschieben bald der betreffende Knoten ermitteln.

Zum Nachweis von Knoten und Bäuchen giebt es verschiedene Mittel, deren einfachstes ein ebenfalls von Lecher angegebenes ist. Er lässt die beiden Drahtenden in eine kleine Geisslerröhre enden, die — mit verdünnter Luft gefüllt — durch ihren geringen Widerstand den elektrischen Ausgleich sehr begünstigt.

Digitized by Google

Verbindet nun die Brücke zwei Knotenpunkte, so leuchtet die stromdurchflossene Röhre auf, verbindet sie zwei Bäuche und nimmt die Elektricität durch den Drahtbügel ihren Weg, so bleibt die Röhre dunkel. In dieser Weise lässt sich ganz genau die Lage der Knotenpunkte ermitteln, und aus ihrer genau übereinstimmenden Entfernung von einander die Wellenlänge herleiten.

Statt der Lecher'schen Geisslerröhre verwenden die Professoren Rubens und Paalzow, Charlottenburg, ein sogenanntes Dynamobolometer, wodurch die Methode präciser wird. — Der Apparat beruht auf der dem Elektriker sehr geläufigen Vorrichtung der Wheatstoneschen Messbrücke. Bei dieser ist eine Stromquelle mit einer Leitungskombination, bestehend aus zwei Teilkreisen, verbunden, in deren Mitte ein Galvanometer[1]) eingeschaltet ist. Die Magnetnadel dieses Instrumentes befindet sich in Ruhestellung, wenn beide Hälften der Kombination hinsichtlich des Widerstandes, den sie dem Strom entgegensetzen, genau proportional sind.[2]) Vergrössert man näm-

---

[1]) Das Galvanometer an und für sich dient zum Nachweis schwacher Ströme. — Man führt den Strom durch sehr viele Windungen eines sehr feinen isolierten Drahtes um eine Magnetnadel herum, und da dessen Wirkung mit Windungszahl wächst, so wird er, selbst wenn er denkbar minimal ist, die Nadel zum Ausschlagen bringen. Allerdings müssen bei manchen Instrumenten, namentlich solchen, die physiologischen Zwecken dienen, viele Tausende an Drahtwindungen zur Anwendung kommen.

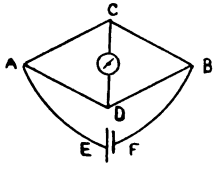
[2]) Das Prinzip der Wheatstoneschen Messbrücke basiert auf der Kirchhoffschen Erweiterung des Ohmschen Gesetzes, die im wesentlichen besagt: 1) In einem Verzweigungspunkt (z. B. A in unserer Figur) ist die Summe aller Stromstärken gleich Null. 2) Für jede Verzweigung

Digitized by Google

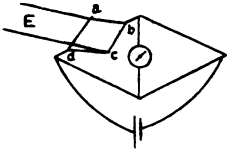
lich den Widerstand der einen Seite, etwa durch Einfügen eines schlecht leitenden Metalls oder zu dünnen Drahtes, so wird die Nadel, entsprechend dem Grad der Vergrösserung, ausschlagen. Die beiden Forscher haben nun in die eine Hälfte ein Viereck aus denkbar feinstem Eisendraht eingefügt, von dessen beiden freien Ecken Zuleitungen zu zwei auf den Drähten schleifenden und durch ein Holzbrettchen verbundenen Glasröhren führen, während die andere Leitung so abgeglichen ist, dass die Magnetnadel zunächst keinen Ausschlag zeigt.[1]) Die Glasröhren

---

elektrischer Ströme, wobei man beliebig viele geschlossene Stromkreise unterscheiden kann, gilt folgendes: In jedem in sich geschlossenen Kreise ist die Summe der elektromotorischen Kräfte gleich der Summe der Produkte der einzelnen Widerstände und der in ihnen fliessenden Stromstärke. Ist also die Anordnung wie in der nebenstehenden Figur getroffen, so wird bei völliger Proportionalität der Stromkreise E A C B F und E A D B F an den Punkten C und D gleiches Potential herrschen und die Verbindungsleitung C D, die das Galvanometer enthält, muss stromlos sein. Stört man jedoch durch eine Veränderung des Widerstandes in der einen Kreishälfte die Proportionalität, so wird eine Potentialdifferenz zwischen C und D entstehen. Die Verbindungsleitung durchfliesst dann ein dieser Differenz proportionaler Strom, der einen entsprechenden Ausschlag der Magnetnadel zur Folge hat.



[1]) Bei der in nebenstehender Figur wiedergegebenen Dynamobolometerschaltung ist a b c d das Hitzdrahtviereck, das durch die Zuleitung E mit den auf den Drähten schleifenden Glasröhren verbunden ist.



Digitized by Google

sind dadurch, dass die Zuleitungsenden nach einmaliger Umwindung an ihrer Aussenfläche befestigt sind, zu kleinen Leydener Flaschen von ausserordentlich geringer Kapacität geworden, auf deren äussere Belegung, das sind also die Zuleitungsenden, sich die Oscillationen der inneren Belegung durch Induktion übertragen. Je nach der Stellung der Röhren wird dann das Viereck bald ein schwächerer, bald ein stärkerer Strom durchfliessen und den feinen, empfindlichen Eisendraht erwärmen. Da jedoch Eisen die Eigenschaft aller Metalle, mit der Zunahme der Eigenwärme auch den Leitwiderstand zu erhöhen, in besonders hohem Maasse besitzt, so wird

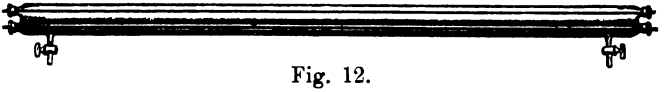


Fig. 12.

die Magnetnadel durch die dadurch hervorgerufene Ungleichheit ihrer Zuleitungshälften sich bewegen und in Übereinstimmung mit der Brücke verschiedene Stellungen einnehmen. Ihr Ausschlag wird an der äussersten Stelle der Bäuche am grössten sein, während sie an den Knotenpunkten vollkommen in Ruhe bleiben wird. So lässt sich der ganze Verlauf der Erscheinung verfolgen.

Dem Berliner Forscher Arons ist es aber auch gelungen, die Wellen direkt sichtbar zu machen. Er schliesst die beiden Drähte etwa auf eine Länge von zwei Meter in eine ausgepumpte Glasröhre (Figur 12) ein. So kommt es — genau wie bei der Geisslerröhre —

Digitized by Google

während der Thätigkeit des Induktoriums zu einem Ausgleich der Elektricität zwischen den beiden Drähten in Form eines farbig leuchtenden Bandes, das in der Bauchmitte am hellsten ist, nach den Knotenpunkten zu immer mehr verblasst und an diesen selbst überhaupt aussetzt.

Nun war aber — wie ich bereits erwähnte — die Beschränkung der Wellen auf Drähte nur ein Kunst-

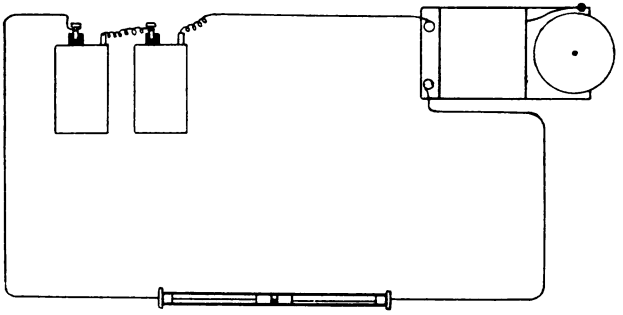


Fig. 13.

griff, um sie anfangs dem eingehenden Studium zugänglicher zu machen; dass sie in freier Luft in gleicher Weise, sich geradlinig fortpflanzend, bestehen, lässt sich aus zahlreichen Wirkungen beweisen. Eine der merkwürdigsten wurde sonderbarerweise fast gleichzeitig von drei verschiedenen Seiten entdeckt. Sowohl der englische Physiker Lodge, wie der Franzose Branly und ebenso auch der Berliner Aschkinass kamen 1890 vollkommen unabhängig von einander zu dem Resultat,

Digitized by Google

dass aneinandergefügte Metall-Teilchen oder Blättchen, die dem elektrischen Strom gewöhnlich einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzen, von elektrischen Wellen getroffen, auf unerklärliche Weise sich zu einer guten Leitung zusammenschliessen.[1]) Das daraufhin konstruierte Instrument, Kohärer (von cohaerere, zusammenhängen) oder Fritter (von fritten, durch Schmelzen eine leichte Verbindung herstellen) genannt, besteht in seiner gebräuchlichsten Form aus einer engen Glasröhre, die in ihrem Innern zwischen zwei Metalldeckeln lose Kupfer-, Messing- oder Nickelfeilspäne enthält. Fügt man eine derartige Röhre in eine gewöhnliche Klingelleitung (Figur 13), so wird zunächst die Glocke schweigen, gleichsam als wäre die Leitung an dieser Stelle überhaupt unterbrochen. In dem Augenblick aber, wo in der Nähe Funkenentladungen erzeugt werden, so dass die elektrischen Wellen auf den parallel zum Auslader aufgestellten Kohärer[2]) auftreffen, kann der Strom aus den Elementen kursieren und der Hammer schlägt auf die Glocke. Die Wirkung ist fortdauernd, auch wenn die Schwingungen bereits aufgehört haben,

---

[1]) Die gleiche Beobachtung beim Auftreten elektrischer Funken machte bereits 1884 der Italiener Calzecchi Onesti, da aber die Ausstrahlung elektrischer Wellen noch unbekannt war, so legte man der Erscheinung damals keine Bedeutung bei und sie geriet bald in Vergessenheit.

[2]) Die genaue Übereinstimmung mit der Stellung des Ausladers ist unbedingt nötig, da eine auftreffende, quer gerichtete Kraft — wie es bei vertikaler Stellung, des Ausladers und horizontaler des Kohärers oder umgekehrt der Fall ist — wirkungslos bleibt.

Digitized by Google

erst eine Erschütterung der Feilspäne durch Klopfen etwa mit dem Finger oder einem kleinen Holzhammer gegen die Glasröhre löst die Verbindung.

Wird nun die ganze Klingeleinrichtung in einen von allen Seiten verschlossenen Metallkasten gethan, der nur an der Stelle, wo sich der Kohärer befindet, einen kleinen Ausschnitt hat, so lässt sich noch eine ganze Reihe interessanter Beobachtungen anstellen. Zunächst die, dass Metall undurchlässig für elektrische

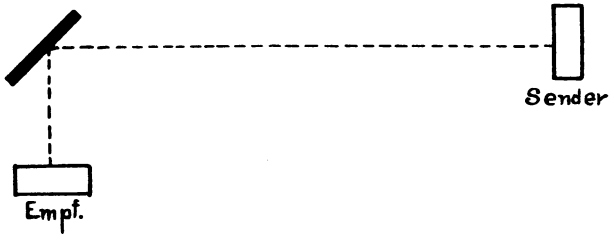


Fig. 14.

Wellen ist. Denn bringt man in den Strahlengang zwischen den Auslader und die Kastenöffnung eine Metallplatte, so wird beim Funkenübergang die Klingel nicht ansprechen. Erst im Augenblick der Wegnahme erhält man wieder die Wirkung. Auch die dazwischen gehaltene Hand wirkt in gleicher Weise. Die Wellen werden von der Hand oder dem Metall nicht vernichtet, sondern nur reflektiert. Treffen wir als Beweis dafür die Aufstellung der Vorrichtung so, wie in Figur 14, so wird die Klingel tönen.

Digitized by Google

Eigentümliche Erscheinungen treten bei einem Gitter aus parallel gespannten Metalldrähten (Figur 15) zu Tage. Bringen wir das Gitter horizontal — also wie in der Figur — in den Strahlengang, so werden — vorausgesetzt, dass Auslader und Kohärer ebenfalls horizontal angeordnet sind — die elektrischen Wellen vollkommen abgehalten[1]), drehen wir es jedoch

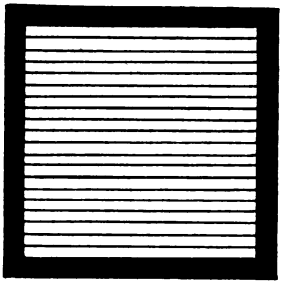


Fig. 15.

zu vertikaler Stellung um (Figur 16), so gehen sie an den Drähten vorbei durch die Zwischenräume und die Klingel tönt.[2])

---

[1]) Auch in diesem Falle findet Reflexion statt.

[2]) Allerdings lässt sich durch das Gitter auch eine Drehung der Wellen herbeiführen. — Denn stellen wir Auslader und Kohärer quer zu einander und bringen das Gitter schräg in den Strahlengang, sodass seine Drähte einen Winkel von 45° bilden, so wird die Wirkung der Wellen wahrnehmbar sein.

Digitized by Google

Vollkommen durchlässig für die Wellen sind dagegen Nichtleiter, also Hartgummi, Paraffin, Glas, Holz usw.[1]), nur ist in ihnen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit kleiner

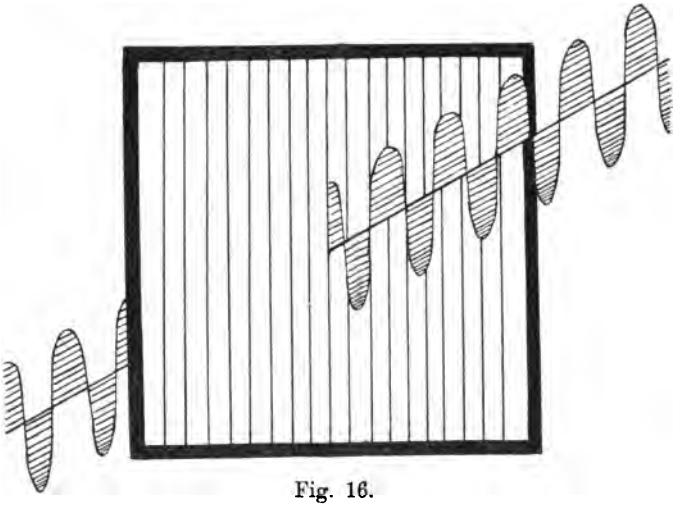


Fig. 16.

wie in der Luft. Infolgedessen lassen sich auch deutlich Brechungserscheinungen nachweisen. Man benutzt

[1]) Die angeführten Thatsachen scheinen eigentlich die bisherige Lehre, nach der Nichtleiter eben „nicht leiten", auf den Kopf zu stellen. Da aber nach der Faraday-Maxwell'schen Anschauung, die durch Hertz ihre Bestätigung erhielt, nicht das Material, sondern der Äther Träger der Elektricität ist, so werden alle diejenigen Stoffe, die den Äther in einer gewissen elastischen Nachgiebigkeit aufweisen, also in erster Reihe alle Isolatoren, die eigentlichen Elektricitätsleiter sein. Aus diesem Grunde bezeichnet man sie auch besser mit einem von Faraday gewählten Wort als „Dielektrika", da durch sie die elektrischen Kraftlinien hindurch

Digitized by Google

dafür ein Prisma aus nicht leitender Substanz, etwa Paraffin oder Pech, da sich Glas für Dimensionen, wie sie elektrische Wellen erfordern, nicht eignet. Hertz

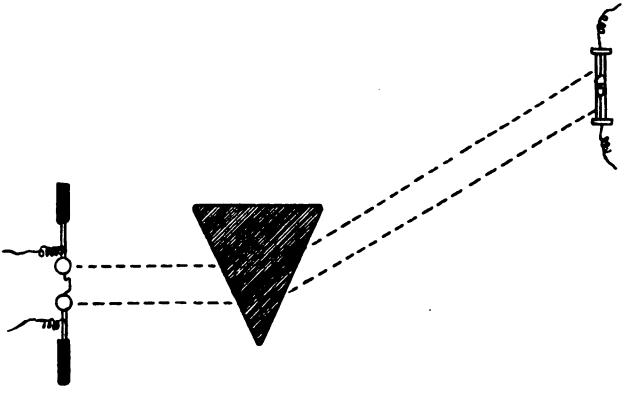


Fig. 17.

verwendete z. B. ein Prisma aus Hartgummi, das 12 Zentner wog. Lässt man die elektrische Strahlung

---

gehen; und den bei den einzelnen Substanzen verschiedenen Durchgang - grad als Dielektricitätskonstante. Die letztere ist z. B. für

Luft = 1
Glas = $3_{,2}$ — 8 (je nach Beschaffenheit)
Schellack = 3
Wachs = 2
Paraffin = $2_{,15}$ — $2_{,32}$
Petroleum = $2_{,1}$
Olivenöl = $3_{,1}$
Benzol = $2_{,3}$
Terpentinöl = $2_{,3}$ u. s. w.

Digitized by Google

durch ein derartiges Prisma gehen, so wird man geradlinig dahinter keine Wirkung erhalten, erst wenn der Kohärer in die abgelenkte Strahlenrichtung (Figur 17) gebracht ist, tönt die Klingel wieder.[1])

Nehmen wir statt des Kohärers und der Klingeleinrichtung ein ganz feines Thermoelement, wie es z. B. Professor Rubens konstruiert hat, also ein Messinstrument für denkbar kleinste Temperaturschwankungen,[2]) und bringen es mit einem Galvanometer in Verbindung, so wird die Magnetnadel unter dem Einflusse der elektrischen Wellen zum Ausschlagen kommen. Der Ausschlag wird sich wesentlich vergrössern, wenn wir den Auslader in einen parabolischen Hohlspiegel[3]) aus Metall

[1]) Die Brechung hat ihren Grund in dem ungleichen Grad der Geschwindigkeit, mit dem die Wellen durch Medien verschiedener Dielektricitätskonstanten hindurchgehen. Je grösser die letztere ist, um so langsamer ist auch die Durchgangsgeschwindigkeit. Der Brechungsexponent, d. h. das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, ist gleich der Quadratwurzel aus der Dielektricitätskonstante.

[2]) Das Thermoelement beruht auf einer Umwandlung der Wärme in elektrische Energie. Lötet man z. B. einen Wismut- und einen Antimonfaden zusammen, so wird bei Erwärmung der betreffenden Lötstelle ein dieser Wärme proportionaler Strom entstehen. Will man die Erscheinung praktisch verwerten, so vereinigt man mehrere der zusammengelöteten Metallfäden zu einer sogenannten Thermosäule in der Weise, dass alle Lötstellen auf einer Seite zu liegen kommen, damit sie sich in ihren Wirkungen addieren. Die schwachen Ströme eines solchen Instrumentes lassen sich durch ein feines Galvanometer nachweisen.

[3]) In einem derartigen Spiegel vereinigen sich alle parallel auffallenden Strahlen in einem einzigen Brennpunkt, in dem die Summe ihrer Kräfte zur Wirkung kommt.

Digitized by Google

stellen, ebenso auch wenn wir das Thermoelement in den Brennpunkt eines solchen bringen. Stellen wir aber ausserdem noch eine geeignete bikonvexe Linse (sogenannte Sammellinse), etwa eine mit Petroleum (starkes Dielektrikum) gefüllte Flasche, in Form der bekannten Schusterkugel, vor den Auslader[1]) und lassen durch sie die Strahlung hindurchgehen, so wird die Wirkung auf das Thermoelement eine noch stärkere sein.

Das Wesen der elektrischen Wellen.

Dass thatsächlich zwischen den eben geschilderten Erscheinungen und dem Licht nahe Beziehungen bestehen müssen, liegt klar auf der Hand. Auch das Licht wird vom Metall zurückgeworfen, denn am Spiegel z. B. ist doch nur der Metallbelag auf der Rückseite das wirksame; zur Erzielung einer Lichtverstärkung bringen wir Reflektoren in Form von metallenen Hohlspiegeln an, die Zusammenziehung des Lichtes durch Linsen, wie die erwähnte Schusterkugel, und die Brechung durch Prismen ist ebenfalls etwas allgemein bekanntes.[2])

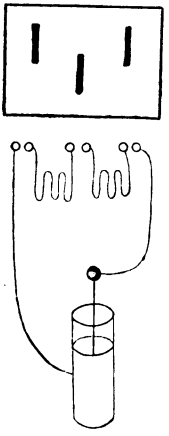
[1]) Die Linsenwirkung hat ebenfalls in der Brechung ihren Grund. Die beim Durchgang abgelenkten Strahlen werden entweder bei ihrem Austritt — zum zweiten Male abgelenkt — auf einen Punkt konzentriert oder im entgegengesetzten Fall auseinandergezogen, zerstreut, wie es oben bei Anwendung einer bikonkaven Linse geschehen würde.

[2]) Auch die Übereinstimmung der Kohärer- mit der Ausladerstellung und ebenso die Versuche mit dem Gitter haben ihr optisches Analogon. Sie erinnern an die Vorgänge beim gradlinig polarisierten Licht, also Licht, dessen Schwingungen nach einer einzigen, senkrecht zur Reflexions-

Digitized by Google

Geradezu überraschen muss aber die beiderseitige Übereinstimmung in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei einem Ergebnis von 300000 Kilometer in der Sekunde.[1])

ebene liegenden Richtung hin stattfinden; eine Annahme, die von Fresnel vertreten, in neuerer Zeit durch Klemencic's Vergleiche mit der elektrischen Erscheinung ihre Bestätigung erhielt. Zur Gewinnung polarisierter Lichtstrahlen wird vorzugsweise das Nicol'sche Prisma benutzt, das, aus zwei Kalkspatstückchen zusammengesetzt, einen einfallenden Strahl in zwei Strahlen zerspaltet, von denen der eine — der sogenannte „ordentliche" Strahl — nach Vorschrift gebrochen und von der an der Zusammensetzungslinie befindlichen Kanada-Balsam-Schicht bei Seite gebracht wird, während der zweite „ausserordentliche" Strahl hindurchgeht und parallel seiner Incidenz wieder austritt. — Zwei derartige Nicol'sche Prismen, hintereinander parallel aufgestellt, ergeben Helligkeit, werden sie jedoch gekreuzt, so bleibt — trotzdem doch beide vollkommen durchsichtig sind — das Gesichtsfeld dunkel. Bringt man aber eine Turmalinplatte, die nur Lichtstrahlen einer bestimmten Schwingungsrichtung hindurchlässt, mit der letzteren unter einem Winkel von 45° geneigt, zwischen die beiden Prismen, so tritt Helligkeit ein.



[1]) Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes wurde zuerst 1675 durch Olaf Römer auf astronomischem Wege gemessen und zwar auf Grund der Unregelmässigkeiten in dem Eintreffen der Jupitermonde-Verfinsterungen, die durch die wechselnde Entfernung Jupiters von der Erde bedingt sind. 1728 ermittelte Bradley dieselbe Grösse, ausgedrückt in Vielfachen der Erdgeschwindigkeit aus der sogenannten Fixstern-Aberration. Auch in neuerer Zeit erhielt diese Zahl durch Messungen von Fizeau und Foucault ihre Bestätigung. — Im Jahre 1836 suchte Wheatstone die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität zu bestimmen in folgender Weise: In eine Leitung von einigen

Digitized by Google

Wo haben wir nun das bindende Glied zwischen dem elektrischen Vorgang und dem Licht zu suchen?

Zu einer Beantwortung der Frage ist es nötig, sich die bezüglichen Verhältnisse in der Optik ein wenig näher anzusehen. Bekanntlich ist auch das Licht eine wellenförmige Bewegung im Äther. Es setzt sich aus verschiedenen Farben zusammen, denn wenn wir es durch ein Prisma zerlegen, so erhalten wir ein regenbogenähnliches Farbband, das sogenannte Spektrum, das die Hauptfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Cyanblau, Indigoblau und Violett enthält. Die einzelnen Töne entstehen durch die verschiedenen Wellenlängen im Lichtstrahlenbündel und zwar hat das im Prisma am wenigsten abgelenkte Rot die grösste Wellenlänge, dann geht es ständig abnehmend die Farbenskala durch bis zu den violetten Strahlen, die mit der kleinsten Wellenlänge die grösste Ablenkung

---

Kilometern Länge sind in der Nähe der beiden Enden und in der Mitte je eine Unterbrechungsstelle angebracht. Diese drei Funkenstrecken werden zusammengebracht und während der Entladung in einem rotierenden Spiegel betrachtet. Dabei zeigt sich, dass der mittelste Funken nicht gleichzeitig sondern später (siehe nebenstehende Figur) zu Stande kommt. Aus der Grösse der Verschiebung und der Drahtlänge berechnete Wheatstone die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Er kam allerdings zu einem ziemlich ungenauen Resultat, das sich zum wirklichen Wert wie 29 : 19 verhielt. 1875 wurde dieses jedoch durch die Siemens'schen Versuche berichtigt, nachdem Kirchhoff vorher theoretisch die Geschwindigkeit bestimmt hatte.

Digitized by Google

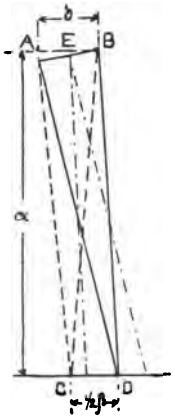
erfahren.[1]) Nun ist aber das Spektrum mit seinen sieben sichtbaren Farben durchaus nicht erschöpft, sowohl über die rote wie über die violette Seite hinaus bestehen noch weitere Strahlen, die zwar das Auge

---

[1]) Die Wellenlängen der einzelnen Farben des sichtbaren Spektrums betragen in $^1/_{1\,000\,000}$ mm ($\mu\mu$) für

Rot	760	$\mu\mu$
Orange	656	„
Gelb	589	„
Grün	527	„
Cyanblau	486	„
Indigoblau	431	„
Violett	395	„

Ihre Messung erfolgt durch eine merkwürdige Erscheinung, „Interferenz" genannt, die — nebenbei bemerkt — auch den ersten zwingenden Beweis für die Auffassung des Lichtes als Wellenbewegung brachte. Das Zusammentreffen zweier Strahlen ergiebt nicht immer vermehrte Helligkeit, sondern es wird direkte Dunkelheit eintreten, sobald der Phasenunterschied



der beiden Wellenbewegungen gerade eine halbe Wellenlänge — ebenso auch $1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$ u. s. w. — beträgt. Dann fällt ein Wellenberg des einen Strahls mit dem Thal des anderen Strahls zusammen, und es findet eine gegenseitige Vernichtung der Wellenbewegung statt. Die darauf basierende Messung der Wellenlänge λ geschieht in folgender Weise: Zwei Strahlen, von den Lichtquellen A und B, die sich im Abstande δ von einander befinden, auf einen in der Entfernung α aufgestellten Schirm geworfen, sollen sich im Punkte C, bis wohin sie ja gleichen Weg haben, in ihren Wirkungen addieren und vermehrte Helligkeit ergeben, hingegen sich im Punkte D mit einem Phasenunterschied von einer halben Wellenlänge vernichten. Zieht man nun durch E ($= {}^1/_2\,\delta$)

Digitized by Google

nicht mehr wahrnimmt, deren Existenz aber deutlich nachgewiesen werden kann. So sind die ultra- (jenseits) violetten Strahlen, die also eine noch kleinere Wellenlänge wie die violetten Strahlen haben, chemisch äusserst wirksam und werden von der photographischen Platte festgehalten, die ultraroten hingegen machen sich durch ihre Wärmeentwickelung bemerkbar;[1]) aus der letzteren gelang es, eine grösste Wellenlänge von 0,024 Millimeter für Lichtstrahlen zu berechnen.

Damit haben wir den wesentlichen, sofort in die Augen fallenden Unterschied gegenüber der elektrischen Erscheinung, denn diese weist, wie wir gesehen haben,

---

zu AD und BD Parallelen, so ist nach dem pythagoräischen Lehrsatz:

$$AD^2 = a^2 + \left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)^2$$

$$BD^2 = a^2 + \left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)^2$$

$$AD^2 - BD^2 = \left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)^2 - \left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)^2$$

oder

$$(AD + BD)(AD - BD) = \beta\,\delta$$

für $AD + BD$ darf man ohne merklichen Fehler $2a$ setzen und es ergiebt sich

$$AD - BD = \frac{\lambda}{2} = \frac{\beta\,\delta}{2a}$$

daher

$$\lambda = \frac{\beta\,\delta}{a}.$$

Natürlich erfordert eine derartige Messung, zumal wenn a nicht sehr gross ist, die Anwendung einer Lupe zur Wahrnehmung der Interferenzstreifen, und einer Mikrometervorrichtung zur Messung von β.

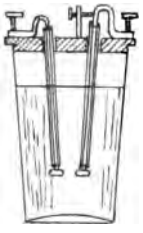
[1]) Auch in diesem Fall kommt das auf Seite 36 beschriebene Thermoelement zur Anwendung.

Digitized by Google

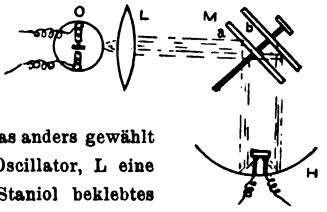
ungleich grössere Wellenlängen auf. — Die Hauptaufgabe der Physiker besteht für die Zukunft nun darin, elektrische Wellen von solcher Kleinheit zu erzeugen, dass sie zunächst in das Gebiet der ultraroten und endlich auch in das der sichtbaren Strahlen hinüberreichen. Denn trotz angestrengter Arbeit und hübscher Erfolge, die Forscher wie Boltzmann, Rubens, Klemencic, Czermak, Lebedew und andere erzielten, glückte es bisher nicht, zu diesem Ziele zu gelangen. Die äusserste Grenze erreichte der Letztgenannte, ein russischer Physiker, der mittelst eines besonders konstruierten Oscillators [1]) bis auf drei Millimeter Wellenlänge kam,[2]) so dass die zu überwindende

---

[1]) Der Lebedew'sche Oscillator besteht aus einem Glase mit einem Holzdeckel, auf dem zwei — mit den Polen des Induktoriums zu verbindende — Anschlussklemmen befestigt sind. Von den Anschlussklemmen führen zwei Metallstäbchen, in Glasröhren eingeschlossen, damit die Funken nicht zwischen ihnen übergehen, zu zwei kleinen Kugelkondensatoren im Innern des Glases, das bis über die letzteren mit Petroleum angefüllt ist. Den Zwischenraum zwischen den beiden Kondensatoren kann man vom Deckel aus beliebig vergrössern oder verkleinern.



[2]) Die Messung derartig kleiner elektrischer Wellen erfolgt in gleicher Weise wie die der Lichtwellen, durch die Interferenz-Erscheinung, nur muss, da eine direkt sichtbare Verstärkung oder Vernichtung nicht eintritt, die zur Anwendung kommende Methode etwas anders gewählt sein. In unserer Figur ist O der Oscillator, L eine Linse, M ein Metallspiegel (mit Staniol beklebtes



Digitized by Google

Spanne bis 0,024 Millimeter und zum sichtbaren Spektrum gar bis 0,0076 Millimeter immer noch eine ganz beträchtliche ist.

Und doch sind die erzielten Resultate durchaus befriedigend und erübrigen eigentlich die Weiterarbeit, da sich aus ihnen in unzweideutigster Weise die Richtigkeit der Annahme ergiebt, dass elektrische Strahlung und Licht ein und dieselbe Schwingungserscheinung des Äthers ist. Gelang von der elektrischen Seite aus der Nachweis, dass die Wellen mit der Abnahme ihrer Grösse immer lichtähnlicher werden, so erzielten auf der Lichtseite die Professoren Rubens und Nichols den glänzenden Erfolg, eine Auslöschung ultraroter Strahlen grösster Wellenlänge durch ein Gitter mit Zwischenräumen gleich einer halben Wellenlänge

---

Brett), der in der Mitte (|⊟) geteilt ist, und dessen beide Hälften a und b durch eine Mikrometerschraube von einander entfernt werden können, H ein Hohlspiegel, in dessen Brennpunkt sich ein, mit einem Galvanometer verbundenes Thermoelement befindet. — Die von O ausgehenden und durch L verstärkten Strahlen fallen auf M, von wo aus sie, geteilt, nach H reflektiert werden, sich dort in ihren Wirkungen addieren, das Thermoelement erregen und dadurch einen Ausschlag des Galvanometers hervorrufen. Ist jedoch der Abstand zwischen a und b gleich einer Viertelwellenlänge, so dass der eine Strahl, Hin- und Rückweg zusammengenommen, einen um $\frac{\lambda}{2}$ grösseren Weg machen muss, so vernichten sich beide durch Interferenz und das Galvanometer wird in Ruhe bleiben. Erwähnt sei an dieser Stelle noch, dass sich aus der Wellenlänge und der Schwingungsdauer (siehe Seite 18) auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit feststellen lässt, da diese gleich der Wellenlänge dividiert durch die Schwingungsdauer ist.

Digitized by Google

herbeizuführen, ein Versuch, der vorher bereits mit elektrischen Wellen geglückt war.[1]) Endlich noch konnte in allerjüngster Zeit Lebedew zeigen, dass auch das Licht — wie die Elektricität[2]) — auf die Fläche, auf die es auftrifft, einen mechanischen Druck ausübt, und zwar genau in jener Grösse, die Maxwell auf Grund mathematischer Betrachtungen vorausgesagt hatte.

Man kann also thatsächlich die Faraday-Maxwell-sche Theorie in Hauptpunkten als experimentell erwiesen ansehen. Mit ihrer Annahme hören „Licht" und „Wärme" auf, selbständige Abschnitte der Physik zu sein; sie bilden nur noch Unterabteilungen des Hauptgebietes: Elektricität. In glühenden und leuchtenden Körpern sind es eben elektrisch geladene Atome, die schnell hin- und heroscillieren und so zu denkbar minimalsten Hertzschen Erregern werden. Für die von ihnen ausgestrahlten, entsprechend kleinen elektrischen Wellen

---

[1]) Für den elektrischen Versuch wurde eine Hartgummitafel mit Staniolstreifen gleich $\frac{\lambda}{2}$ in ebensolchen Zwischenräumen beklebt, während man für die ultraroten Strahlen von einem Spiegel mittelst Diamanten die Silberschicht abwechselnd auf $\frac{\lambda}{2}$ entfernte und stehen liess.

[2]) Der durch elektrische Kräfte ausgeübte mechanische Druck tritt bei folgenden Versuchen in deutlichster Weise zu Tage: Schickt man durch eine Spule gewöhnlichen, von einer Dynamomaschine erzeugten Wechselstrom, etwa mit einer Frequenz von 50 in der Sekunde, so wird ein über die Spule gesteckter Aluminiumring im Augenblick des Einschaltens in die Höhe geschleudert, eine hohle Kupferkugel tanzt sogar dauernd über der Spule in der Luft. Es sind dies Experimente, die zuerst von Elihu Thomson 1891 veröffentlicht worden sind, nach dem sie auch die Bezeichnung: Thomsonsche Repulsion erhalten haben.

Digitized by Google

hat aber die Natur dem Menschen zwei Empfänger, die Haut und das Auge, gegeben, von welchen sie je nach ihrer Länge als Licht oder Wärme wahrgenommen werden. — Das ist die Schlussfolgerung, die sich schon jetzt aus den Forschungsergebnissen des letzten Dezenniums ziehen lässt.

Ein den Stand der Dinge treffend charakterisierender Ausspruch Professor Rubens' möge dieses Kapitel beschliessen: „Unsere Arbeit erinnert an den Bau eines Tunnels, der von beiden Seiten zugleich in Angriff genommen wurde; zwar ist die letzte Wand noch nicht gefallen, aber die durchtönenden Hammerschläge beweisen, dass man sich auf dem richtigen Wege befindet."

Die Telegraphie ohne Draht.

Vollkommen unabhängig von den zuletzt erwähnten Laboratoriumsversuchen hat die praktische Anwendung des Phänomens der elektrischen Strahlung bereits vor längerer Zeit stattgefunden. Im Jahre 1896 trat der Italiener Guglielmo Marconi mit seiner Telegraphie ohne Draht, d. i. die Übermittelung von Nachrichten ohne künstliche, leitende Verbindung unter Anwendung elektrischer, durch oscillierende Entladungen erzeugter Wellen, an die Öffentlichkeit.

An und für sich ist die Idee einer Telegraphie ohne Übertragungsdrähte durchaus nicht neu. Bereits in den Jahren 1892 bis 1894 hatte der Oberingenieur Preece von der englischen Telegraphenbehörde versucht,

Digitized by Google

die Leuchtschiffe an der Küste Englands mit dem Festlande ohne Verwendung von Kabeln zu verbinden, und zwar mit ziemlich günstigem Resultat. Schickte er durch einen auf dem Lande ausgespannten Draht starke Wechselströme, so waren die in einem zweiten auf dem Schiffe gezogenen Draht entstehenden Induktionsströme mit einem Telephon deutlich hörbar. Man erzielte so durch längeres oder kürzeres Zeichengeben, entsprechend den Strichen und Punkten des Morsealphabets,[1]) eine deutliche Verständigung. Allerdings war die Wirkung nur in nächster Nähe wahrnehmbar.

Einen wesentlich besseren Erfolg hatte Rubens, der sich überhaupt auf vielen Gebieten als glücklicher Experimentator erweist, bei seinen Versuchen, das Wasser als Zuleitung zu benutzen. Diese Versuche wurden unter Assistenz von Rathenau im Jahre 1894

[1]) Nachstehend die verschiedenen Zeichen der internationalen Morseschrift:

a . —	é . . — . .	m — —	s . . .
ä . — . —	f . . — .	n — .	t —
à — — . —	g — — .	ñ — — . — —	u . . —
b — . . .	h	o — — —	v . . . —
c — . — .	i . .	ö — — — .	w . — —
ch — — — —	j . — — —	p . — — .	x — . . —
d — . .	k — . —	q — — . —	y — . — —
e .	l . — . .	r . — .	z — — . .

1 . — — — —	6 — . . . .
2 . . — — —	7 — — . . .
3 . . . — —	8 — — — . .
4 . . . . —	9 — — — — .
5	0 — — — — —

Digitized by Google

auf dem Wannsee bei Potsdam angestellt, und zwar in der Weise, dass eine mit einer Wechselstromquelle in Verbindung stehende Leitung (Figur 18) zu zwei Metallplatten, die sich im Wasser befanden, geführt war und dass der Strom einen Teil des Wassers als Leitung benutzen musste. Die Elektricität geht nun in diesem Falle keineswegs nur den nächsten, gradlinigen

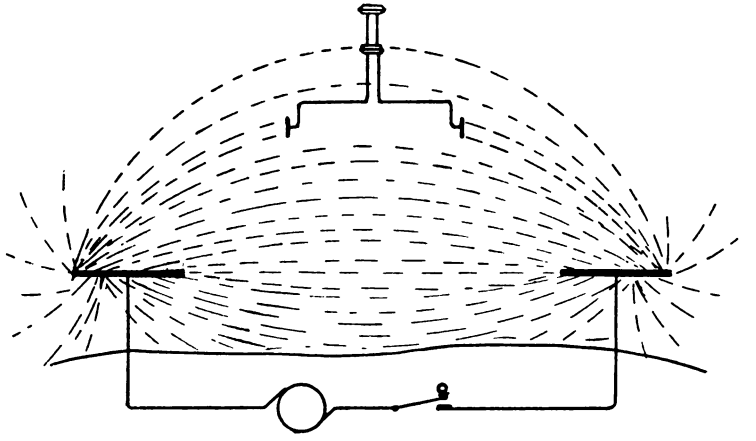


Fig. 18.

Weg von der einen Platte zur andern, sondern sie beschreibt eine Reihe von Kurven, die, ständig wachsend, sich bis zu den äussersten Grenzen der Wasserfläche erstrecken. An einer entfernten Stelle — etwa von einem Schiff aus — ragten ebenfalls zwei Platten ins Wasser und wurden von den Kurven getroffen. In der Verbindungsleitung zwischen beiden befand sich ein

Digitized by Google

Telephon, das durch ein Summen das Vorhandensein von Strömen verriet, und zwar konnte man die letzteren durch einen in die Sendeleitung eingefügten Morsetaster längere oder kürzere Zeit andauern lassen. Das System war insofern noch besonders gut ausgearbeitet, als auch der Umstand berücksichtigt und glücklich beseitigt war, dass nicht allen auf dem Wasser befindlichen und mit Platten versehenen Schiffen eine Nachricht zukam, sondern nur demjenigen, für das sie wirklich bestimmt war. Rubens hatte hierfür ein sogenanntes Schwingungsgalvanometer[1]) konstruiert, das auf der Resonanzerscheinung basierte und nur ansprach, wenn das Unterbrechungstempo des Stromes mit seiner Eigenschwingungsdauer übereinstimmte. Die Entfernung, auf welche man mit diesen denkbar einfachsten Einrichtungen eine Verständigung erzielte, betrug cirka fünf Kilometer. Sicher hätte sich bei genauerer Ausarbeitung diese Grenze bedeutend weiter hinausschieben lassen, aber die Versuchsbedingungen bei derartigen Unternehmungen sind so schwierige, dass eine Weiterarbeit nur unter günstigsten Verhältnissen, bei Zuweisung geeigneter Terrains u. s. w. möglich ist. So kam es, dass sich die Ausgestaltung in die Länge zog und in

[1]) Im Schwingungsgalvanometer kommen die Torsionsschwingungen einer gespannten Saite, deren Eigenton durch Länge oder Dicke beliebig verändert werden kann, zur Anwendung. Die Erregung geschieht durch Eisenstäbchen, die an der Saite in der Nähe von vier über Kreuz stehenden Telephon-Elektromagnetpolen befestigt sind. Der Wechselstrom wirkt elektromagnetisch auf die Stahlpole des Eisenstäbchens ein, so dass das letztere bei Resonanz zu vibrieren anfängt.

Digitized by Google

dem allgemeinen Begeisterungstaumel über die Marconische Erfindung der Vergessenheit anheim fiel.

Marconi,[1]) ein damals vierundzwanzigjähriger Mensch, Hörer der Vorlesungen Professor Rhigis über elektrische Wellen an der Universität zu Bologna, verstand es, Konstruktionen und Methoden verschiedener Forscher auf diesem Gebiet seinem Zwecke nutzbar zu machen und so in geschickter Weise die Kluft zwischen dem Laboratorium und der der Praxis zu überbrücken. So

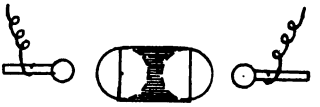


Fig. 19.

benutzte er zunächst als Sendevorrichtung einen von seinem Lehrer zur Erzeugung kurzer, kräftiger Wellen

[1]) Auch auf dem Gebiete der Funkentelegraphie hatte Marconi einen Vorgänger. Hughes, der Mikrophonerfinder, machte bereits 1879 die Beobachtung, dass sich die Entladungen eines in seinem Hause in der Portlandstreet zu London aufgestellten Induktoriums mittelst eines in sich geschlossenen Telephons bis an das entgegengesetzte Strassenende — cirka 1 englische Meile weit — verfolgen liessen. Er hatte auch eine vollkommen den Thatsachen entsprechende Erklärung für den Vorgang, da aber die eigentliche Entdeckung der ausgestrahlten, elektrischen Wellen bekanntlich erst 10 Jahre später erfolgte, so begegneten die massgebenden Zeitgenossen damals der Hughes'schen Ansicht nur mit abfälligem Achselzucken, und dieser wagte nicht, sie officiell bekannt zu geben. Die Episode geriet dann bald in Vergessenheit, der sie erst die jüngste Zeit entrissen hat.

Digitized by Google

konstruierten Apparat. Rhigi hat den auf Seite 12 beschriebenen Auslader derart umgestaltet, dass er den beiden Kugelkondensatoren noch ein zweites Paar grösserer Kondensatoren gegenüberstellt, die — zur Hälfte in ein Hartgummirohr gesteckt — bis auf einen Zwischenraum von 5 bis 10 Millimeter einander genähert sind (Figur 19). Sind die ersteren in bekannter Weise

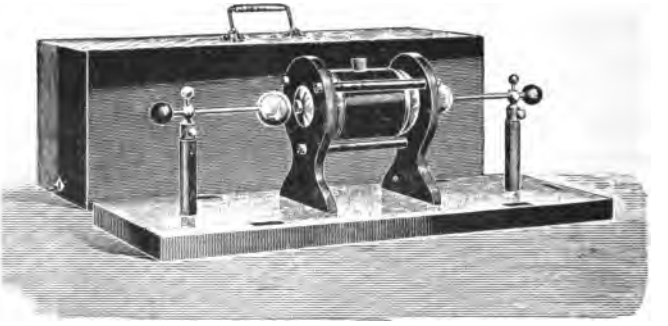


Fig. 20.[1])

mit einem kräftigen Induktorium (cirka 30 Centimeter Funkenlänge) verbunden, so gehen zunächst die Funken von diesen zu den zweiten Kugeln über, zwischen denen bei ihrer geringen Entfernung von einander eine Reihe schnell auf einander folgender, knackender Entladungen stattfindet. Um nun diese zu erschweren und es dadurch

[1]) Nach einer Konstruktion von Max Kohl, Chemnitz.

Digitized by Google

erst zu einer aussergewöhnlichen Steigerung der Spannung in den zweiten Kondensatoren kommen zu lassen, die zur Erzeugung besonders kräftiger Wellen nötig ist, sind die sich zugewendeten Kugelhälften in Vaselinöl gebettet, denen das Hartgummirohr als Gefäss dient. In Figur 20 haben wir die äussere Ansicht eines solchen Rhigischen Senders oder Radiators, wie er ebenfalls noch genannt wird.

Als Empfänger verwendete Marconi den Branlyschen Kohärer, für dessen Füllung er eine Mischung von 96 Teilen Hartnickel, 3 Teilen Silber und 1 Teil Quecksilber am geeignetsten fand. — Um die Glasröhre — zur Zerstörung der sich durch die Bestrahlung bildenden leitenden Brücke — selbstthätig zu erschüttern, traf er eine Schaltung, die zuerst Popoff, St. Petersburg, im Jahre 1895 für eine Einrichtung zum Registrieren von Gewitterentladungen angewendet hat. Der Kohärer ist in bekannter, im Absatz über die Sichtbarmachung elektrischer Wellen geschilderter Weise in eine Klingelleitung eingefügt, nur schlägt der Klöppel bei geschlossenem Stromkreis nicht gegen eine Glocke, sondern gegen das Brettchen, auf dem die Glasröhre sitzt, wodurch zwar die leitende Brücke ununterbrochen zerstört, aber auch gleich wieder gebildet wird, solange die Bestrahlung dauert. Sobald jedoch diese aufhört, bleibt die Brücke durch den letzten Schlag vernichtet, und der Strom, der den Klöppel bethätigte, muss zu kursieren aufhören. Gleichzeitig mit eingeschlossen in den Stromkreis sind aber noch die Magnetwindungen

Digitized by Google

eines Relais, die, solange sie vom Strom durchflossen werden, ein Metallbändchen angezogen haben, das

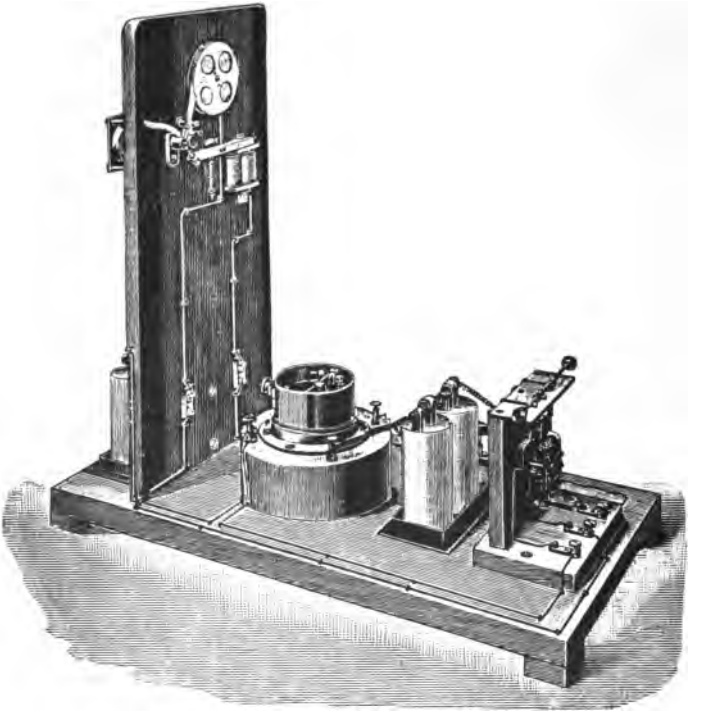


Fig. 21.[1])

seinerseits wieder einen zweiten Stromkreis schliesst, der aus einer kräftigeren Batterie und einem Morse-

[1]) Nach einer Konstruktion von F. Ernecke, Berlin.

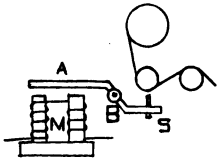
Digitized by Google

apparat[1]) besteht. Figur 21 stellt die äussere Ansicht eines Empfängers dar. Vorn rechts befindet sich der Kohärer mit dem Rasselwerk, dahinter stehen zwei Elemente, dann kommt in einer runden Metalldose das Relais, der Morseapparat ist an der Rückwand befestigt, hinter der die Elemente des zweiten Stromkreises stehen.

Die ganze Anordnung, Sender und Empfänger, giebt Figur 22 wieder. Beim Sender A ist T ein Morsetaster, der den durch p p in das Induktorium J fliessenden Strom unterbricht; k_1 k_1 sind die kleinen, k k die in Vaselinöl gebetteten Kugeln des Rhigisenders, der — wie in der Zeichnung angegeben, in Wirklichkeit natürlich in keiner Weise wahrnehmbar — seine Wellen aussendet. Diese treffen beim Empfänger E auf den Kohärer C auf, wodurch das Rasselwerk L und das Relais R funktionieren kann, das den Morseschreiber M in Thätigkeit setzt. Je nachdem nun der Morsetaster T längere oder kürzere Zeichen giebt, schreibt der letztere seine Striche und Punkte, die für den Eingeweihten eine deutlich lesbare Nachricht darstellen.

---

[1]) Der in nebenstehender Figur schematisch dargestellte Morseschreiber ist einer der einfachsten Apparate der Elektrotechnik. Der Länge der einzelnen Stromstösse entsprechend, zieht der Elektromagnet M das über ihm hängende Metallband A an, das an Punkt B drehbar einen Schreibstift S gegen einen von einem Uhrwerk abgerollten Papierstreifen drückt.



Digitized by Google

Die eigentliche Marconische Erfindung und sein darauf bezügliches Patent hatten jedoch mit den vorerwähnten Apparatkombinationen nichts zu thun. Sein Verdienst ist, die Mittel gefunden zu haben, die Wirksamkeit elektrischer Wellen, für die Hertz eine Grenze bei etwa 100 Metern fand, derart zu steigern, dass bei Erfüllung gewisser Vorbedingungen die Entfernung zwischen Sender und Empfänger im Princip keine Rolle mehr spielt. Das ist das Wesentliche, was seiner

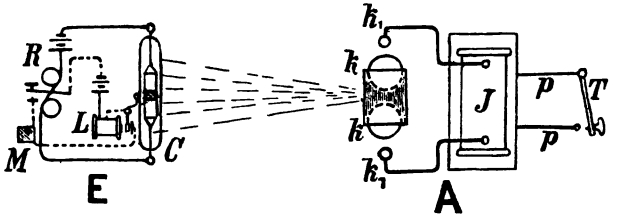


Fig. 22.

Telegraphie das Leben gab. Zwar scheinen der Vorrichtung, die er hierfür ausfindig machte, die Preeceschen Versuche zu Grunde gelegen zu haben, aber der praktische Wert, der ihr innewohnt, zwingt über eine kleinliche Kritik hinweg und lässt nur die Genialität und den geübten Blick bewundern, aus einer solchen Fülle von Material das geeignetste einem grossen Resultat dienstbar zu machen. Marconi leitete den einen Pol seines Senders zur Erde ab, von dem andern spannte er einen Draht an einem Mast oder Schornstein senkrecht in die Luft;

Digitized by Google

in gleicher Weise wurde auch der Kohärer geerdet und mit einem Auffangedraht versehen. Der dadurch erzielte Erfolg war überraschend. Nunmehr schickt der Sendedraht seiner ganzen Länge nach Strahlen elektrischer Kraft aus, die im Empfänger durch die Höhe des Auffangedrahtes bei geeigneter Entfernung fast mit absoluter Sicherheit zur Wirkung kommen. Von der Länge dieser beiden ausgespannten Drähte hängt die Entfernung der Übertragungsmöglichkeit ab. Da nämlich die dazwischen liegenden Berge, Wälder, Häuser, Schornsteine, Masten u. s. w. den Wellen ein Hemmnis bieten, so müssen die beiden Drähte möglichst alles überragen, wie man anfangs sogar auf Grund der durch die Laboratoriumsversuche festgestellten gradlinigen Ausbreitung der Wellen glaubte, „sich sehen“ können.

Mit diesen Einrichtungen machte Marconi seine ersten telegraphischen Versuche über grössere Strecken im Hafen von Specia mit Unterstützung zweier Kriegsschiffe, die ihm die italienische Regierung zur Verfügung gestellt hatte, und zwar gelang es ihm, Nachrichten bis auf 4 Kilometer zu übermitteln. Dann verlegte er das Gebiet seiner Thätigkeit nach England, wo er in Preece einen eifrigen Förderer seiner Sache fand. Bei ihren gemeinschaftlichen Versuchen am Bristolkanal zu Anfang des Jahres 1897 kamen sie zunächst auf 5 Kilometer und zwar mit 50 Meter langen Sende- und Auffangedrähten, dann wurde das Resultat mit der Zeit immer günstiger, so dass im Sommer 1899 bei den englischen Flottenmanövern eine

Digitized by Google

Verständigung auf die Entfernung von 108 Kilometer bei nur noch 45 Meter langen Antennen (Sende- und Auffangedrähte) erzielt wurde; endlich gelang es sogar, Mitteilungen auf ca. 200 Kilometer zu übertragen. — Diese Resultate ergaben auch, dass die Bedingung eines „Sich sehens" der Antennen nicht besteht. Denn bei der Übertragung auf 108 Kilometer tritt bereits die Krümmung der Erdoberfläche so stark in Erscheinung, dass 45 Meter lange Drähte sich thatsächlich nicht sehen können. Es erwies sich demnach die Annahme einer gradlinigen Ausbreitung der elektrischen Kraft, für alle Fälle wenigstens, nicht als zutreffend.[1])

[1]) Aus der Reihe der später bezüglich der Ausbreitung geäusserten Ansichten seien nachstehend die hauptsächlichsten wiedergegeben. Dr. R. Blochmann nimmt an, dass sich die Wellen längs der Aequipotentialflächen fortpflanzen. Es sind dies Flächen, die sich aus einer Verbindung atmosphärischer Schichten, die gleiches Potential besitzen, ergeben. In den tieferen Luftschichten entsprechen diese der Erdoberfläche und machen deren Unregelmässigkeiten — Berge und Thäler — mit, in der Höhe aber werden sie ebenmässiger und umgeben schliesslich als kugelförmige Umhüllung die Erde. Lecher und Taylor gaben unabhängig von einander folgende Erklärung: Die elektrischen Teilchen sind polarisiert; sie schwingen in einer Ebene, welche durch die Funkenstrecke, durch die Antennen und durch die Erddrähte gelegt ist. Die Schwingung schreitet in dieser Ebene fort, geht längs der Erde oder Meeresoberfläche weiter, wobei die Hügel, die Krümmung der Erde kein Hemmnis bilden, wenn die im Wege der Welle befindlichen Objekte nicht allzusteil emporragen, wie dies bei Felsabstürzen, Häusern, Tauwerk, Bäumen usw. der Fall ist. — In neuerer Zeit gelang es namentlich der Ansicht Professor Brauns in Strassburg, sich Geltung zu verschaffen; dieselbe ist etwas weiter unten, bei der Schilderung des Braunschen Systems drahtloser Telegraphie, eingehender behandelt.

Digitized by Google

Bei dem grossen Interesse, das der drahtlosen Telegraphie allgemein entgegengebracht wurde, folgten auch von anderer Seite bald weitere, wichtige Verbesserungen. So beseitigte Dr. Spiess, der bekannte Physiker an der Berliner Urania, in einfacher Weise eine störende Nebenerscheinung am Empfänger, die Marconi nur durch die Anwendung eines kleineren Übels vermeiden konnte. Sowohl am Rasselwerk wie am Relaishebel entstehen

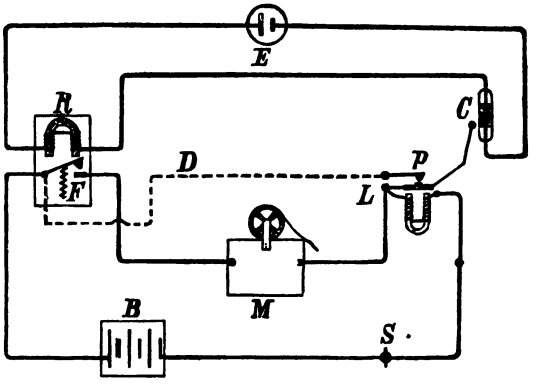


Fig. 23.

bei der Stromunterbrechung Abreissfünkchen, die ihrerseits ebenfalls schwache elektrische Wellen aussenden und dadurch den soeben zerfallenen Kohärer wieder in Thätigkeit setzen können. Marconi wusste sich nur durch Verwendung von Nebenschlüssen, die zum Teil einen hohen Widerstand aufwiesen und den Strom sehr schwächten, zu helfen. Spiess hingegen benutzte die folgende geistreiche Schaltung (Figur 23): Der Ko-

Digitized by Google

härer C bethätigt mit Hilfe der Batterie E den Elektromagneten des Relais R. Dieser zieht das Metallstäbchen an, so dass der durch M und den Magneten L fliessende Strom unterbrochen wird; der Apparat M ist so eingerichtet, dass das von dem stromlosen Elektromagneten losgelassene Metallband den Schreibstift gegen den Papierstreifen drückt. Der Elektromagnet des Rasselwerkes lässt sein Stahlband ebenfalls los, dieses schnellt an den durch die Leitung D gespeisten Kontakt p und rasselt nun weiter, bis der Kohärer zerfällt und infolgedessen die Feder F den Hauptstromkreis wieder einschaltet; der letztere lässt sich dann während des Ruhezustandes der Einrichtung durch Herausziehen des Stöpsels S stromlos machen. — Bei dieser Schaltung bilden sich die Abreissfunken nur während der Bestrahlungszeit des Fritters, können also nicht schädlich sein, sondern im Gegenteil, sie vergrössern die Wirkung der vom Sender aus auf den Kohärer auftreffenden Wellen.

Zahlreiche Verbesserungsversuche wurden auch mit dem Kohärer als dem wichtigsten Teil der Einrichtung unternommen, jedoch erwies es sich bald, dass wenig Aussicht auf Resultate von praktischer Bedeutung vorhanden wäre. Erwähnt sei an dieser Stelle nur ein sogenannter Antikohärer, dessen Erfindung von dem bayrischen Lehrer Neugschwender herrührt, wenngleich er in Verbindung mit dem Namen Schäfer bekannt geworden ist. Der Antikohärer besteht aus einem kleinen Spiegel, dessen Silberbelag durch einen Schnitt

Digitized by Google

in zwei Hälften geteilt ist. Die Leitfähigkeit des Metalls ist dadurch aufgehoben, stellt sich jedoch wieder ein, sowie auf der Silberfläche, etwa durch Anhauchen, ein leichter Feuchtigkeitsniederschlag erzeugt ist. Treffen nun die elektrischen Wellen auf den derart präparierten Spiegel, so steigt sein Widerstand augenblicklich zu solcher Höhe an, dass eine Stromunterbrechung stattfindet.[1]) Die Wirkung ist also die entgegengesetzte, wie beim gewöhnlichen Kohärer, so dass der Name des Instrumentes durchaus glücklich gewählt ist. Eingang in die Praxis hat der Antikohärer aber trotz seines sicheren Funktionierens nicht gefunden.

Eine Einrichtung aber von grosser praktischer Bedeutung wurde von einem Landsmann Marconi's, Guarini, geschaffen, ein automatischer Wiederholer. Es war nämlich vorauszusehen, dass, wenn sich mit der Zeit auch wohl noch ein weiteres Hinausschieben der Übermittlungsentfernung unter günstigen Verhältnissen erzielen liesse, der direkten Übertragung bei Berücksichtigung genügender Exaktheit doch eine Grenze gezogen ist. So traten namentlich hügelige und be-

[1]) Unter dem Einfluss der elektrischen Wellen findet nämlich eine Zerreissung des einheitlichen Feuchtigkeitsüberzugs statt, indem sich an einzelnen Stellen tropfenähnliche Zusammenziehungen bilden, eine Erscheinung, die bei elektrischen Vorgängen häufiger zu Tage tritt. Erzeugt man z. B. durch einen kleinen Springbrunnen einen feinen Sprühregen und setzt in der Nähe eine Influenzmaschine in Thätigkeit, so vereinigen sich die feinen Wasserpartikelchen im Augenblick der Entladung zu grossen Tropfen. Auch der grosstropfige Regen beim Gewitter findet durch die gleiche Ursache seine Erklärung.

Digitized by Google

waldete Terrains derart störend in Erscheinung, dass ein Verkehr über Land fast ganz ausgeschlossen war. Daher lag es nahe, ähnlich wie bei den gewöhnlichen elektromagnetischen Telegraphen, auch für die drahtlose Telegraphie eine Art Relais oder automatischen

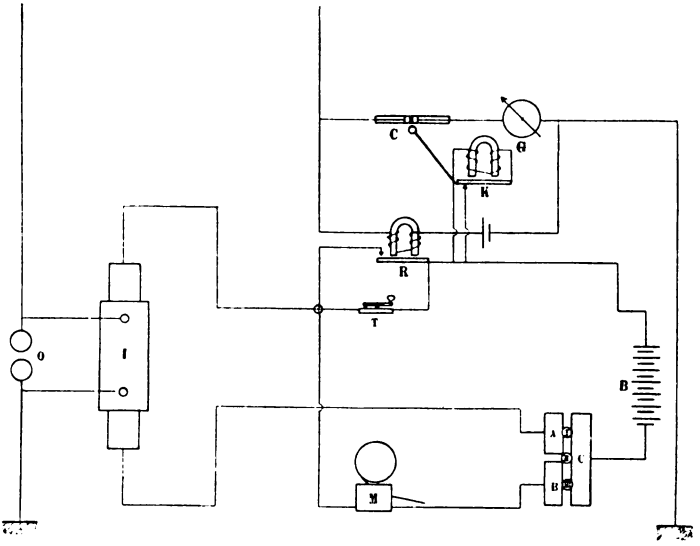


Fig. 24.

Wiederholer zu konstruieren, der die von der Gebestation kommenden Zeichen auffängt und verstärkt einem zweiten Wiederholer oder dem Empfänger weitergiebt. — Guarini's automatischer Wiederholer (Figur 24) stellt eine Kombination der gesamten Marconischen Einrichtung dar und kann daher sowohl

Digitized by Google

als Geber, wie als Empfänger, ferner auch als Relais dienen. Der Geber besteht — wie gewöhnlich — aus Induktor, Righi-Oscillator und Morsetaster, ebenso ist auch die Anordnung des Empfangsapparates die übliche. Oscillator und Kohärer — also Sender und Empfänger — sind mit gesonderter Luftleitung ausgerüstet, oder es findet bei der Zeichenabgabe durch einen Elektromagneten eine Abschaltung derselben von dem Kohärerstromkreis statt. — Bei einer Benutzung als Sender müssen mittelst des Stöpsels I die Platten A und C verbunden werden. Der Strom fliesst dann bei Bethätigung des Tasters T von der Batterie B kommend zum Unterbrecher, geht in den Induktor J, dessen sekundäre Spule im Oscillator O Funkenentladungen erzeugt, und fliesst über A C zur Batterie zurück. Der zum primären Stromkreis parallel geschaltete Klopfer bewirkt, dass der während der Zeichengabe ansprechende Kohärer stets erschüttert wird.

Bei Benutzung des Apparates als Empfänger wird durch Stöpsel III eine Verbindung der Platten B und C hergestellt und die Schaltung entspricht vollkommen der des gewöhnlichen Empfängers.

Soll nun der Apparat die erhaltene Nachricht weitergeben, so muss Stöpsel I und III stecken bleiben. Dann wirkt die eintreffende Nachricht auf den Kohärer C, das Relais R spricht an und schliesst den Stromkreis der Sendeeinrichtung, deren Gebedraht seine Wellen ausstrahlt. Gleichzeitig jedoch schlägt der Klopfer K gegen den Kohärer und macht ihn für die

Digitized by Google

weiteren ankommenden Zeichen aufnahmefähig, die genau ihrer Länge nach — also als Strich oder Punkt — zur Wirkung kommen. Durch Einfügen von Stöpsel II, der Platte C mit A und B verbindet, wird veranlasst, dass der Morseschreiber M auch die von dem Apparat übermittelten Zeichen registriert.

Alle empfindlichen Teile, namentlich der Kohärer und das Relais, befinden sich in einem eisernen Gehäuse zum Schutz gegen Einflüsse seitens des sich in unmittelbarer Nähe befindenden Funkeninduktors. Damit ferner nicht mehrere Stationen zu gleicher Zeit arbeiten, ist in den Kohärerstromkreis ein Galvanometer G eingefügt, dessen Nadelstellung anzeigt, ob die Strecke frei ist.

Trotz seiner sorgfältigen Ausgestaltung besass aber der sonst einwandfreie Guarinische Apparat zunächst doch einen grossen Fehler. Da sich bekanntlich die Wellen gleichmässig nach allen Seiten hin ausbreiten, so bestand die Möglichkeit, dass die von einem dritten Wiederholer ausgehenden Strahlen nochmals beim zweiten zur Wirkung kommen und dort eine grenzenlose Verwirrung anrichten mussten. — Der Erfinder sah sich also gezwungen, zur Beseitigung der Übelstände Reflektoren, in Form von Metallwänden hinter den Sendedrähten anzubringen, durch die die Wellen des Senders der einen Station zum Empfänger der nächsten Station reflektiert wurden. Damit waren aber wieder zwei gänzlich von einander getrennte Apparatsysteme nötig geworden. — Bei seinen weiteren Versuchen kamen Guarini jedoch Resultate, die andere Forscher unter-

Digitized by Google

dessen erhalten hatten, zu statten und mit der weiter unten beschriebenen Lösung der Abstimmungsfrage waren auch die Übelstände seiner Einrichtung behoben. Auf der 43 Kilometer langen Strecke zwischen Brüssel und Antwerpen über hügeliges Terrain bewährten sich die Wiederholer ausgezeichnet.[1])

Weit störender wie bei dem Guarinischen Relais trat die gleichmässige Ausbreitung der Wellen nach allen Seiten bei den Marconischen Einrichtungen in Erscheinung. Deren meistens 50 Meter lange Antennen liessen sich nicht wie die fünfmal kürzeren Guarinischen mit Reflektoren versehen. Dadurch war es denn auch nicht zu verhindern, dass ein Funkentelegramm von allen im Wirkungsbereich befindlichen Empfängern aufgenommen wurde und Unberufenen in die Hände fiel. So bekamen z. B. die deutschen Kriegsschiffe, als sie sich dem Hafen von Shanghai näherten, die Nachrichten, die englische Schiffe miteinander austauschten. Und konnte man sich in einem solchen Fall noch durch dechiffrierte Telegramme helfen, so genügte die Thätigkeit eines zweiten Senders und eine Aufnahme wurde überhaupt unmöglich gemacht.

Dieser Unvollkommenheit, die die allgemeinere Verwendung von vornherein ausschloss, abzuhelfen, war man von vielen Seiten bemüht. Als Erstem gelang es Professor Karl Zickler in Brünn, ihrer Herr zu werden. Wieder war es der unerschöpfliche Quell, die Hertzschen

[1]) In diesem Falle liess Guarini beim Sender den Oscillator fort und arbeitete mit einfachem Wechselstrom.

Digitized by Google

Versuche, die ihm zum Erfolge verhalfen. Im Jahre 1887 machte Hertz die Entdeckung, dass ultraviolette Lichtstrahlen elektrische Entladungen sehr begünstigen. Er hatte die beiden Kugelkondensatoren eines im Gange befindlichen Induktoriums soweit auseinandergezogen, dass eine Funkenentladung nicht eintreten konnte. Liess er jedoch auf die Funkenstrecke das an ultravioletten Strahlen reiche Licht einer unabgeblendeten Bogenlampe (ohne Glaskugel) fallen, und zwar hauptsächlich auf die Kathode, d. i. die negative Kugel,[1]) so trat der funkenförmige Ausgleich ein. Hierauf basierte die Zicklersche Idee.

Als Sendestation des Telegrammes dient ein Scheinwerfer mit einer Bogenlampe als Lichtquelle. Die die Austrittsöffnung verschliessende Glasplatte kann auf pneumatischem Wege, ähnlich dem Momentverschluss eines photographischen Apparates, weggenommen und wieder vorgeklappt werden. Das Glas lässt nämlich die wirksamen ultravioletten Strahlen nicht hindurch, schwächt aber — und das ist das Wesentlichste an der Einrichtung — den dem Auge wahrnehmbaren Lichteffekt in keiner Weise. So kann man durch längeres oder kürzeres Offenlassen des Verschlusses dem Morsealphabet entsprechende Zeichen geben, ohne die Aufmerksamkeit unberufener Beobachter durch ein Aufleuchten oder Verdunkeln, wie es bei einem undurchsichtigen Verschluss eintreten würde, wachzurufen. — An der Empfangsstation befindet sich eine

[1]) Den positiven Pol bezeichnet man mit Anode.

Digitized by Google

Glasröhre (Figur 25), deren eines, dem Scheinwerfer zugekehrtes Ende mit einer Linse aus Bergkristall verschlossen ist, die — im Gegensatz zum Glase — den Eintritt ultravioletter Strahlen nicht behindert. In die Röhre eingeschmolzen sind die beiden Kondensatoren eines Ausladers, und zwar ist die Kathode, um eine grössere Auffangefläche zu bieten, zu einer Scheibe umgestaltet. Die weitere Schaltung ist in Fig. 26 dargestellt. Von den Anschlussklemmen e^1

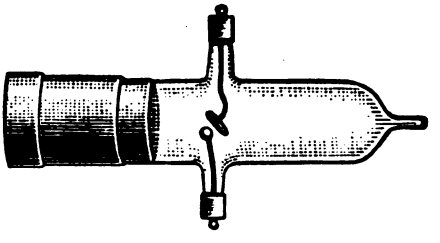


Fig. 25.

und e^2 geht die Leitung zu den betreffenden Polen der Sekundärspule eines Induktoriums J, das zwar dauernd unter Strom steht, dessen Thätigkeit aber durch den Widerstand R so erschwert ist, dass ein Funkenübergang in der Röhre r nicht eintreten kann. Lösen jedoch die von dem geöffneten Scheinwerfer kommenden Strahlen bei ihrem Eintritte in die Röhre durch die Quarzlinse l^1 und die Quarzscheibe p Funkenentladungen zwischen den beiden Polen aus, so wird

Digitized by Google

der Kohärer eines in der Nähe aufgestellten Marconischen Empfängers ansprechen und den mit ihm verbundenen Morseschreiber in bekannter Weise bethätigen. — Der praktischen Anwendung dieser Telegraphie kommt der hohe Grad von Vollkommenheit der modernen Scheinwerfer sehr zu statten. So war — um ein Beispiel anzuführen — auf der Chikagoer Weltausstellung von der Nürnberger Elektricitätsgesellschaft Schuckert ein

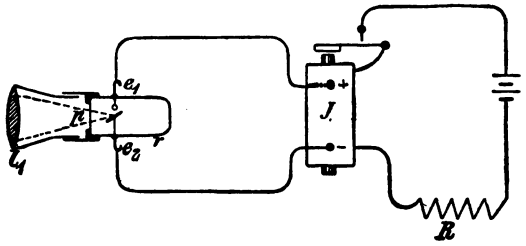


Fig. 26.

derartiger Apparat ausgestellt, der einen Leuchteffekt von 194 Millionen Normalkerzen entwickelte und dessen Wirkung noch in Milwaukee, 128 Kilometer von Chikago entfernt, zu beobachten war.

Das Resultat Zicklers ist jedoch bald überflügelt worden und zwar durch die Arbeiten des Geheimen Regierungsrat Professor Dr. Adolf Slaby[1]) von der

[1]) Adolf Slaby, geb. d. 18. April 1849 zu Berlin, seit 1882 Professor der Elektrotechnik, ist Vorsteher des elektrotechnischen Laboratoriums der technischen Hochschule zu Charlottenburg.

Digitized by Google

technischen Hochschule zu Charlottenburg. Dieser Forscher beschäftigte sich seit längerer Zeit mit einer selbständigen Lösung des Problems einer Funkentelegraphie[1]) und da Slaby ein Techniker ist, bei dem sich praktischer Blick und unbeugsame Energie in seltener Weise einen, so konnte es nicht ausbleiben, dass seine langwierigen und mühevollen Versuche auch von dem entsprechenden Erfolge gekrönt wurden. Zunächst gelang es ihm, ein eigenes System der Funkenübertragung mit äusserst exakt arbeitenden Mitteln zu finden, das auf den deutschen Kriegsschiffen zur Einführung gelangte und sich dort vollkommen bewährt hat. So benutzte er als Sender eine gewöhnliche Wechselstrommaschine, deren Strom er durch einen Transformator,[2]) bis zu einer derartigen Spannungshöhe trieb, dass zwischen den beiden Kugeln eines Ausladers Funkenentladungen eintraten. Durch Dazwischenschalten eines Kondensators in Form von Leydener Flaschen und durch Verwendung von geerdeten Drahtkäfigen[3]) als Sendedrähte wurden nun viel grössere Elektricitätsmengen in Strahlung umgesetzt, wie es mit einem Induktorium möglich ist. Bei seinem Empfänger benutzte er ebenfalls Drahtkäfige

---

[1]) Da der elektrische Funken die Grundlage für die neue Telegraphie bildet, so ist die von Slaby herrührende Bezeichnung „Funkentelegraphie" entschieden charakteristischer wie „Telegraphie ohne Draht".

[2]) Ein Apparat, der ähnlich einem Induktorium eingerichtet ist und wirkt.

[3]) Diese Drahtkäfige haben gegenüber den einfachen Drähten den Vorzug, dass sie eine viel geringere Selbstinduktion aufweisen.

Digitized by Google

als Auffangvorrichtung, von deren oberster Spitze — in genauer Übereinstimmung mit dem Sender — ein Draht in die Erde ging, ebenso war auch der Relaisstromkreis mit der Erde verbunden. Dadurch konnten sich die Wellen — wie vordem die Möglichkeit bestand — nicht mehr teilen und unter Umgehung des Fritters in die Erde wandern, sondern mussten in ihrer vollen Stärke bei dem letzteren zur Wirkung kommen.

Von Anfang an war aber derselbe Forscher bemüht, auch das zweite Problem, die individuelle Beeinflussung der Apparate, d. h. ihre Abstimmung auf einander durch Vereinbarung bestimmter Wellenlängen, einer Lösung zuzuführen. Und zwar richtete er zunächst sein Augenmerk auf den Fritter, den er — um ihn seinem Zwecke nutzbar zu machen — in irgend einer Weise umgestalten wollte. Nun ist aber der Kohärer kein Instrument, das sich auf eine Reihe abgezirkelter Wirkungen einstellen lässt, sondern er befindet sich in einer Art von labilem Gleichgewicht und wird durch einen elektrischen Stoss sofort zum Kippen gebracht. So überzeugte sich Slaby bald von der Aussichtslosigkeit seiner Bemühungen. Aber die Funkentelegraphie — wie er selbst gesteht — lässt den, der in ihren Bann geraten ist, sobald nicht wieder frei. Trotz aller früheren Enttäuschungen nahm er seine Versuche wieder auf und diesmal mit grösserem Glück. Er fand in der bereits von Hertz erfolgreich ausgenutzten Resonanzerscheinung einen neuen Anhalt, der die Möglichkeit einer sicheren Abstimmung bot, und sein rastloses

Digitized by Google

Weiterarbeiten nach dieser Richtung hin brachte ihm wirklich den ersehnten Erfolg.[1]) Am 22. Dezember 1900 konnte er im Konferenzsaal der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft zu Berlin die glänzenden Resultate seiner Thätigkeit einer geladenen Gesellschaft, zu der kein geringerer als der deutsche Kaiser zählte, vorführen.

Auf dem Tisch standen zwei Empfangsapparate, welche beide mit dem Blitzableiter am Schornstein einer im Hinterhaus befindlichen elektrischen Centrale verbunden waren, ohne dass man dessen Erdverbindung aufgehoben oder sonst eine Veränderung mit ihm vorgenommen hatte. — Einige Funken, welche der Vortragende dem Induktorium entlockte, gaben in Morsezeichen zwei weit von einander entfernten Stationen das Signal zum Beginn der Korrespondenz. Die eine dieser Stationen befand sich in Schönweide an der Oberspree, 14 Kilometer entfernt, die andere im Laboratorium Slabys in der technischen Hochschule zu Charlottenburg, in der Luftlinie etwa 4 Kilometer vom Vortragssaal. Ein kurzer Augenblick des Harrens unter allgemeiner Spannung — dann begannen beide Apparate mit geschäftigem Tiktak zu antworten. Ungestört von einander schrieben sie mit der üblichen Telegraphiergeschwindigkeit — 72 Buchstaben in der Minute — ihre Stationsnamen auf den Morsestreifen.

[1]) Wesentlich unterstützt wurde Slaby bei seinen Versuchen durch seinen ehemaligen Assistenten, den Grafen Arko.

Digitized by Google

An der Hand mechanischer Analogien gab Geheimrat Slaby eine Erklärung der Erfindung, die hier im Auszuge Platz finden möge.[1])

„Biege ich — so führte er aus — einen Stahldraht zu einem rechten Winkel mit gleichlangen Schenkeln und klemme den Winkelpunkt fest, so wird jede Erschütterung des einen Drahtendes auf das andere übertragen. Es geschieht dies durch den festen Punkt hindurch, der infolgedessen zum Knotenpunkt wird, während sich an den freien Enden die Schwingungsbäuche bilden. Allerdings darf, soll das Experiment gut gelingen, der Knotenpunkt nicht völlig festgehalten werden, er muss geringe Erschütterungen zulassen. Die Frequenz der Erschütterungen des Knotenpunktes muss aber eine solche sein, dass sie den Eigenschwingungen desjenigen Stahldrahtes entspricht, auf welche die Bewegung übertragen werden soll. Es ist klar, dass bei gleicher Länge der Schenkel diese Bedingung besonders gut erfüllt ist.

Die auf den zweiten Schenkel übertragene Bewegung können wir nun aber weiterleiten. Biegen wir einen Stahldraht von der sechsfachen Länge des freien Schenkels zweimal unter einem rechten Winkel wie Fig. 27 zeigt, so wird der Schwingungsbauch 2 sich der Verlängerung des Drahtes mitteilen und bei 3 einen freien Knotenpunkt, bei 4 wiederum einen Bauch erzeugen. Von hier aus teilt sich endlich die Be-

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift. 1901. I.

Digitized by Google

wegung durch den festen Knotenpunkt 5 dem Vertikaldraht b mit. Kurze Zeit nachdem wir a in Schwingungen versetzt haben, werden wir eine völlig gleiche Bewegung an b erkennen. Die Übertragung erfolgt durch sogenannte stehende Wellen in dem verbindenden Stahldraht. Die ganze Länge, welche einen Wellenberg und ein Wellenthal umfasst, nennt man Wellenlänge. Wir erkennen sofort die richtigen Bedingungen: Die Länge der frei schwingenden Drähte muss diejenige einer viertel Wellenlänge sein.

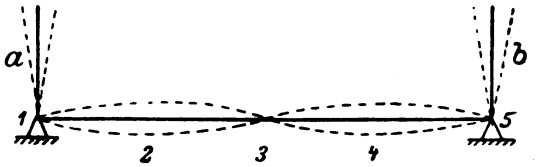


Fig. 27.

Genau das Entsprechende finden wir bei dem elektrischen Vorgang. Die elektrischen Schwingungen, welche wir in einem Vertikaldraht a erzeugen, indem wir am unteren Ende Funken überspringen lassen, bilden am oberen Ende einen Schwingungsbauch, dessen Frequenz durch die Länge des Drahtes bestimmt ist. Diese Schwingungen teilen sich dem Äther mit und pflanzen sich darin fort mit Luftgeschwindigkeit in Form einer Welle, deren Länge genau viermal so gross ist, wie die Länge des elektrisch schwingenden Drahtes. Wir können sie bis auf einen Centimeter genau be-

Digitized by Google

stimmen. Treffen diese Wellen nun auf einen zweiten Draht b in beliebiger Entfernung, so versetzen sie ihn wiederum in elektrische Schwingungen, die am kräftigsten sein werden, wenn die Eigenschwingung desselben der Wellenfrequenz entspricht, d. h. wenn seine Länge genau eine Viertelwellenlänge und wenn das untere Ende ein Knotenpunkt ist. Beide Bedingungen können wir erfüllen, denn über die Länge können wir verfügen und dem unteren Punkt erteilen wir zwangsweise die Spannung Null, machen ihn also zum Knotenpunkt, indem wir ihn mit der Erde verbinden.

Es entsteht nun die Frage: an welcher Stelle des Empfangsdrahtes sollen wir den Fritter anschliessen? doch nicht am Knotenpunkt, sondern offenbar dort, wo die hervorgerufenen Wechselspsannungen am grössten sind. Am besten wäre also die Verbindung an der Spitze des Drahtes. Das verbietet sich aber durch die Unzugänglichkeit dieses Punktes. Nun giebt uns aber unser mechanisches Beispiel deutlich einen Fingerzeig. Wir müssen durch direkte Erdung des Fangedrahtes einen sicheren Knotenpunkt ausbilden und die aufgefangenen Wellen durch diesen hindurchleiten. Ein am Knotenpunkt (Erde) angeschlossener Draht von gleicher Länge erzeugt am freien Ende einen kräftigen Schwingungsbauch der elektrischen Spannung, in ähnlicher Stärke wie an der freien Spitze des Drahtes und bietet den Vorteil der Zugänglichkeit. Es ist nicht nötig, den Verlängerungsdraht gradlinig zu führen, wir können ihn auch auf grössere Spulen wickeln. Hier-

Digitized by Google

durch ist es nun zunächst gelungen, die Präcision und Sicherheit der Zeichengebung in überraschendem Maasse zu verstärken.

Wie können wir nun einen Empfangsapparat einrichten, dass er nur auf eine Wellenart von vereinbarter Länge anspricht? Ein erstes Mittel ergiebt sich sofort. Machen wir die Drahtlänge des Auffangedrahtes genau gleich einer Viertelwellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen derselben, so wandern alle übrigen Wellen, für welche der Erdungspunkt kein Knotenpunkt ist, unweigerlich in die Erde, sie gelangen garnicht zum Empfangsapparat. Derselbe ist für sie immun gemacht. Wir können auch sagen, um ein anderes Bild zu gebrauchen: wir sieben die Wellen, oder wir filtrieren sie. Dies Mittel gestattet Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Korrespondenz mit einer anderen Station. Die gleichzeitige Korrespondenz mit mehreren Stationen ist jedoch dadurch noch unmöglich, denn bezüglich der Wellenlänge sind wir an unsern Blitzableiter oder Schiffsmast gebunden, wir können ihn nicht nach Bedarf verlängern oder verkürzen. Eine glückliche Eigenschaft der elektrischen Wellen hat aber auch die Lösung dieser Aufgabe gestattet. Für Wellen, welche genau viermal so lang sind wie der Auffangedraht, ist der Erdungspunkt ein reiner Knoten, wenn auch minimale Spannungsschwankungen möglich, ja, wie ich vorher zeigte, sogar erspriesslich sind. Ist der Verlängerungsdraht genau so lang wie der Auffangedraht, so wandern alle Wellen von anderer Länge am

Digitized by Google

Knotenpunkte in die Erde. Wir können aber auch diese Wellen zum Weiterwandern in einem Verlängerungsdraht veranlassen, wenn wir die Gesamtlänge des Drahtes, d. h. Auffangedraht plus Verlängerung, gleich der halben Wellenlänge machen. Dann ist für diese Wellen der Erdungspunkt zwar kein reiner Knotenpunkt mehr, er lässt aber die Wellen fast ungeschwächt hindurch, und zwar nur diese Wellen, keine anderen. Ein Zahlenbeispiel mag dies erläutern. Wollen wir mit einem Blitzableiter von 40 Meter Höhe Wellen empfangen, deren Länge nicht $4 . 40 = 160$ Meter sondern vielleicht 200 Meter beträgt, so haben wir als Gesamtdrahtlänge 100 Meter zu wählen, d. h. an den Blitzableiter von 40 Meter noch eine Drahtlänge von 60 Meter anzuschliessen. Dies einfache Mittel gestattet in ziemlich weitem Umfange, eine Empfangsstation zur Aufnahme verschiedener Wellenlängen einzurichten. Man hat nur für einen geeigneten Vorrat jener grossen Drahtspulen Sorge zu tragen und eventuell soviel Empfangsapparate aufzustellen, als die Zahl der Stationen beträgt, mit denen man zu korrespondieren wünscht. Denn die Durchsiebung der Wellen vollzieht sich in so sicherer und exakter Weise, dass wir sogar mit einem und demselben Fangedraht verschiedene Telegramme zu gleicher Zeit aufnehmen können, und zwar Telegramme, welche aus ganz verschiedenen Richtungen und Entfernungen ankommen.

Der Ingenieur ist aber gewohnt, mit einem Sicherheitskoefficienten zu arbeiten. Auch im vor-

Digitized by Google

liegenden Falle haben wir die Aufnahme der Zeichen zu sichern getrachtet durch Vermehrung der Präzision und Steigerung der Wirkung. Dies leistet ein kleiner Apparat von bemerkenswerter Einfachheit, den ich bei meinen Studien eigentlich zufällig fand, dessen Wirkungen mich aber überraschten. Dieser Apparat besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer Drahtspule von bestimmter Form und Wicklungsart, die von der Wellenlänge abhängt. Sie hat die Eigenschaft, die Geschwindigkeit eines elektrischen Impulses herabzusetzen; hieraus resultiert aber eine wesentliche Vermehrung der Spannung, so dass ich den, meines Wissens bisher unbekannten Apparat einen Multiplikator nennen möchte. Er ist nicht mit einem Transformator zu verwechseln, denn die sekundäre Wicklung ist ihm fremd. Was der Resonanzboden für eine echte Stradivari, das leistet der Multiplikator für die Funkentelegraphie, die Zeichen werden dadurch stärker und reiner. Schalten wir eine solche abgestimmte Multiplikationsspule zwischen Verlängerung des Auffangedrahtes und Fritter, so erzielen wir grössere Spannungen am Fritter, vermehren also die Sicherheit des Ansprechens. Ausser der Verstärkung findet durch den Multiplikator aber auch eine nochmalige Reinigung der Wellen statt. Er lässt nämlich nur solche hindurch, für welche er selber abgestimmt worden ist, alle übrigen, die zu gross oder zu klein sind, werden, falls sie der unreine Knotenpunkt an der Erdleitung durchgelassen haben sollte, von der Spule reflektiert. Die

Digitized by Google

Multiplikationsspule versperrt ihnen gleichsam den Zugang zum Fritter.

Es bliebe nun noch zu erörtern, durch welche Mittel elektrische Wellen von vereinbarter Länge an der Sendstation erzeugt werden. Wir benutzen hierzu eine Modifikation derjenigen Einrichtung, welche ich bereits vor einem Jahre bekannt gegeben habe und welche seitdem

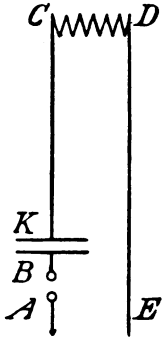


Fig. 28.

bei unserer Marine in Anwendung steht. Wir benutzen dabei statt eines isolierten Drahtes eine geerdete Sendeschleife (Fig. 28), welche zur Vergrösserung der Elektricitätsmenge einen Kondensator K enthält. Diesen verwenden wir in der Form der bekannten Leydener Flaschen. Für den Ladungsvorgang derselben benutzen wir die gesamte, durch Erde geschlossene Schleife, für den Entladungsvorgang dagegen, der mit dem Einsetzen des

Digitized by Google

Funkens beginnt und die für die Fernwirkung allein wirksamen, schnellen elektrischen Schwingungen hervorruft, verwenden wir nur den ersten Vertikalleiter K C. Der Übertritt dieser Schwingungen in die Ableitung zur Erde wird verhindert durch Einschaltung einer stark verstimmten Spule C D von grosser elektrischer Trägheit an der Spitze des Leiters. Wir haben vorhin schon gesehen, dass eine solche Spule wie eine Barrière wirkt, wie eine Mauer, an welcher die schnellen Schwingungen zurückprallen, d. h. reflektiert werden. Die Fernwirkungen können nunmehr lediglich von dem ersten Vertikaldraht ausgehen und werden nicht gestört durch etwaige Gegenwirkungen des zweiten Vertikalleiters D E. Die von einem solchen Sender ausgehenden elektrischen Wellen sind in ihrer Länge vollständig bestimmt durch die Drahtlänge und durch die Grösse des Kondensators. Wir können sie aber in jedem beliebigen Maasse verändern durch Einschaltung abgestimmter Spulen, deren Trägheitswirkung die Frequenz der Schwingungen herabsetzt. Jeder Frequenz entspricht aber eine genau zu berechnende Wellenlänge.“ [1])

Erst mit der Lösung der Abstimmungsfrage trat die Telegraphie ohne Draht aus ihrem eigentlichen Versuchsstadium heraus, sie war der Elektrotechnik

---

[1]) Die Theorie des Gebers der Funkentelegraphie führt auf die Differentialgleichung

$$W_1 \frac{dJ}{dt} + L_1 \frac{d^2J}{dt^2} = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{d^2J}{dx^2}$$

worin W_1, L_1 und C_1 sich auf die Längeneinheit des Drahtes beziehen

Digitized by Google

gewonnen, d. h. also dem Gebiete der Elektricität, das sich unmittelbar in den Dienst der Praxis stellt. Nun galt es nur noch, Anordnungen zu treffen und eine derartige Ausgestaltung der Instrumente vorzunehmen, dass auch für alle gegebenen Verhältnisse eine ausreichende Betriebssicherheit gewährleistet ist, und diese durfte ferner nicht von einer ständigen, fachmännischen Hilfe abhängig sein, sondern musste sich auch in der Hand des Laien als dauernd erweisen.

---

und x einen Abstand vom Endpunkte desselben bedeutet. Die Lösung ergiebt die Gleichungen

$$J = A e^{-\frac{W}{2L}t} \cos \frac{2\pi}{T} t \cdot \sin \frac{\pi}{2l} x.$$

$$T = 4 \sqrt{CL}$$

Hierin ist A eine Konstante, l die Länge des Drahtes, W, L und C sind die für die gesamte Schwingungsbahn geltenden Werte, $\frac{1}{T}$ die Frequenz der elektrischen Schwingungen. Der Ausdruck $\sqrt{CL}$ ergiebt, wenn C in elektrostatischem und L in elektromagnetischem Maass genommen wird, bei grösseren Drahtlängen, wie sie praktisch allein vorkommen, den Wert 1 und führt auf eine Wellenlänge $\lambda = 4l$. Die Potentialdifferenz für die Längeneinheit des Drahtes wird

$$\frac{d\sqrt{\ }}{dx} = B e^{-\frac{W}{2L}t} \cos \frac{2\pi}{T} t \cdot \cos \frac{\pi}{2l} x.$$

Diese Formeln zeigen, dass die erzeugten Wellenlängen gleich der vierfachen Drahtlänge sind und dass die an dem Draht auftretenden Wechselspannungen ein einfaches, harmonisches Gesetz befolgen. An dem freien Ende des Drahtes bildet sich stets ein Schwingungsbauch, an der Funkenstrecke ein Knotenpunkt für die Spannung aus.

Digitized by Google

Dieser Aufgabe unterzog sich die Allgemeine Elektricitätsgesellschaft Berlin, und sie bewies auch hier eine glückliche Hand; es gelang ihr thatsächlich, die geforderten Bedingungen zu erfüllen. Ihre Sendeeinrichtung schliesst sich eng an die von Slaby angegebene Schaltung an (Fig. 29). F E ist die Erreger-

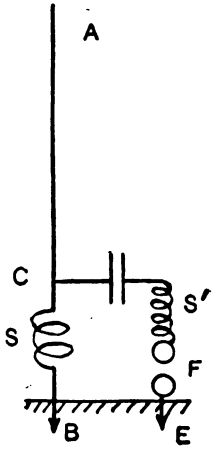


Fig. 29.

funkenstrecke, deren einer Pol direkt an Erde E gelegt ist. Zur Regulierung der Schwingung des Erregers dient die veränderliche Selbstinduktion S_1, während die in den Sendedraht geschaltete Spule S den eigentlichen Grundton des Gebers angiebt, ausserdem gestattet, irgend eine beliebige Wellenlänge hervorzurufen, und endlich dafür sorgt, dass bei B die Anfangs-

Digitized by Google

amplitude nicht zu klein ist. Zwischen S und S_1 ist der Kondensator K angeordnet. Durch diesen Sender wird eine ausserordentlich scharfe Abstimmung auf den Empfänger erzielt.

Die gleiche Sendeeinrichtung in einer etwas abgeänderten Ausführung, wie sie bei Installationen mit

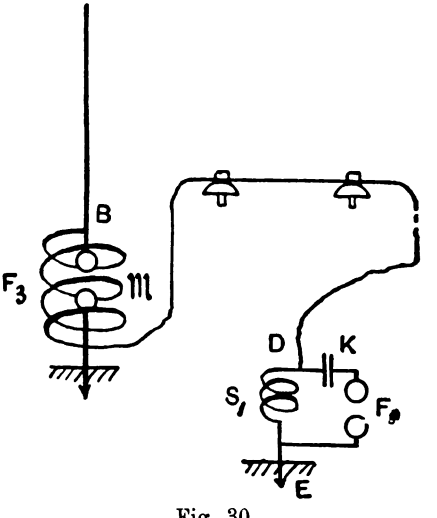


Fig. 30.

sehr schwierigen Drahtdurchführungen zur Anwendung kommt, zeigt Figur 30. Es ist nach der ersten Schaltung nämlich nicht möglich, auf Schiffen die Apparatur unter dem Panzerdeck unterzubringen, weil die Durchführungen des Hochspannung führenden Sendedrahtes mit technisch unüberwindbaren Schwierigkeiten ver-

Digitized by Google

knüpft sind. Im Apparateraum wird dann der in E geerdete Erregerkreis aufgestellt, welcher eine regulierbare Selbstinduktion S_1, den Kondensator K und die Erreger-Funkenstrecke F_1 enthält, und mit dem Vermittelungsdraht D B, der bei genügender Gummiisolation wie jede gewöhnliche Leitung verlegt werden kann,

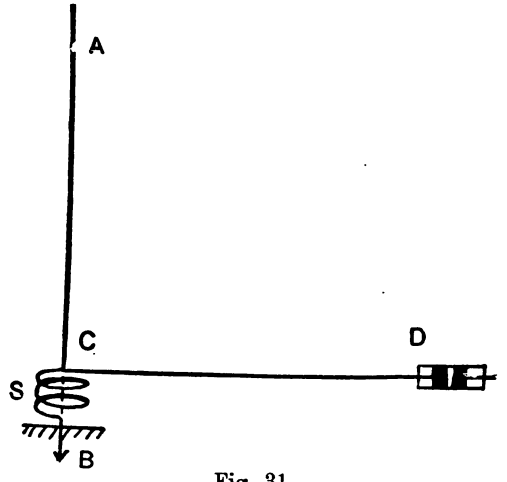


Fig. 31.

durch die Durchführungen aufs Deck hinauf gegangen. In einem wasserdichten Gehäuse ist dann auf Deck der Multiplikator M mit eingebauter Funkenstrecke F_3 aufgestellt, an welche sich bei B der Sendeleiter anschliesst. Während nun im Leiter D B nur eine Spannung von ca. 15 Millimeter Funkenlänge herrscht,

Digitized by Google

steigt dieselbe im Multiplikator zu beträchtlicher Höhe und beträgt in B beispielsweise 150—200 Millimeter.

Schwieriger gestaltete sich die Schaltung der Empfangseinrichtung, da es bei dieser hauptsächlich darauf ankam, atmosphärische Störungen zu verhindern. Aus den Slaby'schen Versuchen liess sich die einfache

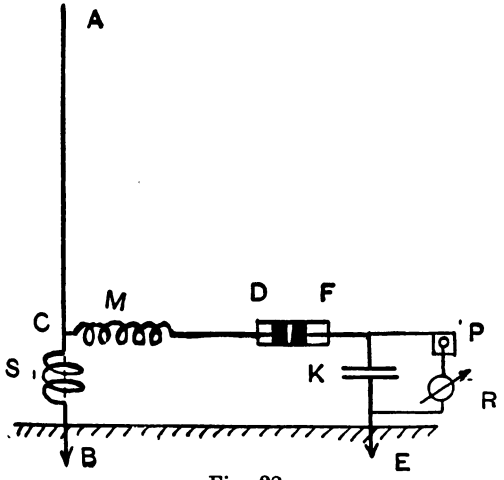


Fig. 32.

Anordnung, Figur 31, herleiten. Der vertikale Leiter A B, an einem Ende geerdet, wird durch die Selbstinduktion S auf eine bestimmte Wellenlänge abgestimmt. An S ist der Horizontalleiter C D, in seiner Länge mit A B übereinstimmend, angeschlossen, der zum ebenfalls geerdeten Kohärer führt. Aus dieser einfachen Schaltung entwickelte sich die in Figur 32 dargestellte Anord-

Digitized by Google

nung, die am häufigsten zur Anwendung kommt. C D ist in Form von Multiplikatorenspulen M aufgewickelt, wodurch bekanntlich die Spannung am Fritter F erheblich gesteigert wird. Parallel zu einem Kondensator K liegt das Schwachstromelement P, das zur Bethätigung des Relais R dient. Bei dieser Schaltung

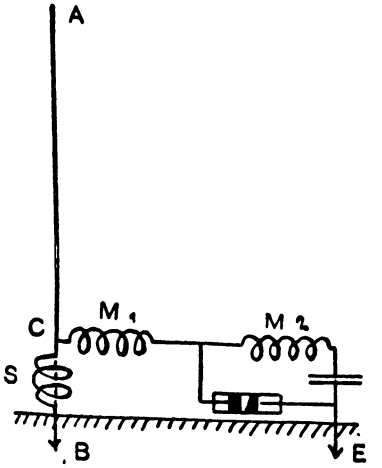


Fig. 33.

gleichen sich atmosphärische Potentialschaltungen fast nur zwischen A und B aus, ohne dass Punkt C in Mitleidenschaft gezogen ist, wodurch Störungen in F sehr selten gemacht sind.

Man ist aber noch einen Schritt weiter gegangen und hat zwei andere Schaltungen (Figur 33 und 34) ausfindig gemacht, bei denen Störungen überhaupt aus-

Digitized by Google

geschlossen sind, da die statischen Ladungen der Atmosphäre gleichmässig an beiden Seiten des Fritters auftreten. Bemerkenswert ist bei der Anordnung Figur 33,

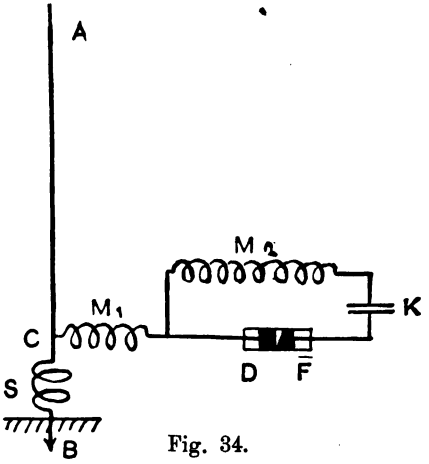
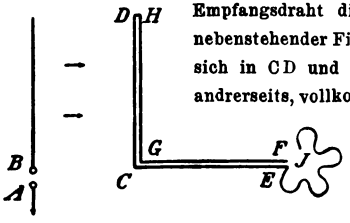


Fig. 34.

dass die veränderliche Fritter-Kapazität auf die Abstimmung kaum noch Einfluss hat, weil sie in einem tertiären Schwingungssystem liegt, und bei Figur 34, dass eine Erdung nicht stattfindet.[1])

[1]) Die Anordnung basiert auf folgenden Beobachtungen: Hat der Empfangsdraht die Form einer Schleife wie in nebenstehender Figur, D mit H verbunden, so bilden sich in C D und G H einerseits, in C E und G F andrerseits, vollkommen gleichartige Schwingungen aus, welche in D und H ebenso wie in E und F Spannungsbäuche, in C und G Knotenpunkte besitzen. Ein zwischen



Digitized by Google

Sehr wesentlich sind auch die an den einzelnen Apparaten vorgenommenen Verbesserungen. Bei den zur Verwendung kommenden Induktoren[1]) kam es nicht allein darauf an, dass sie die notwendige Schlagweite (bis ca. 50 Centimeter) besitzen, sondern es musste in erster Linie dem Umstande Rechnung getragen werden, dass auch die genügende Elektricitätsmenge in Strahlung umgesetzt wird. Es wurde ratsam, sie direkt von dem regulären Lichtstrom speisen zu lassen. Nun ist dieser Strom aber so stark, dass er durch einen vorgeschalteten Widerstand erheblich abgeschwächt werden musste, wodurch natürlich ein grosser Teil seiner Energie nutzlos in Wärme verwandelt wurde. Die Ausnutzung des ganzen Stromes war nur möglich, wenn die Unterbrechungszahl weit über das bisherige Maass erhöht wurde. Eine derartige Steigerung liess

---

E und F eingeschaltetes Funkenmikrometer zeigt keine Spannung; diese Punkte haben also keine Phasendifferenz. Verbindet man indessen mit E ein weiteres Drahtstück E J gleich einer halben Wellenlänge, so entsteht zwischen E und J eine Phasenverschiebung von 180°. Das zwischen J und F geschaltete Funkenmikrometer giebt nahezu doppelt so lange Funken wie bei der Verbindung zwischen F und Erde. Die Anordnung gestattet also, dem Fritter direkt die doppelte Spannung zuzuführen und ihn zugleich von der Erde gänzlich zu befreien. Durch eine glückliche Idee des Grafen Arco wurde diese Schaltung noch wesentlich vereinfacht. Statt des Doppeldrahtes wird ein einfacher Draht D C E verwendet und der Fritter zwischen die Punkte E und J geschaltet mit genau demselben Effekte.

[1]) Die Konstruktion neuerer Induktoren ist im Kapitel: Röntgentrahlentechnik geschildert.

Digitized by Google

sich aber mit dem Hammerunterbrecher nicht erreichen, ganz abgesehen davon, dass es bei ihm ausgeschlossen war, die in Frage kommenden grossen Stromstärken präcise zu unterbrechen. Es war daher eine unabweisbare Notwendigkeit, ein ganz neues Unterbrecher-

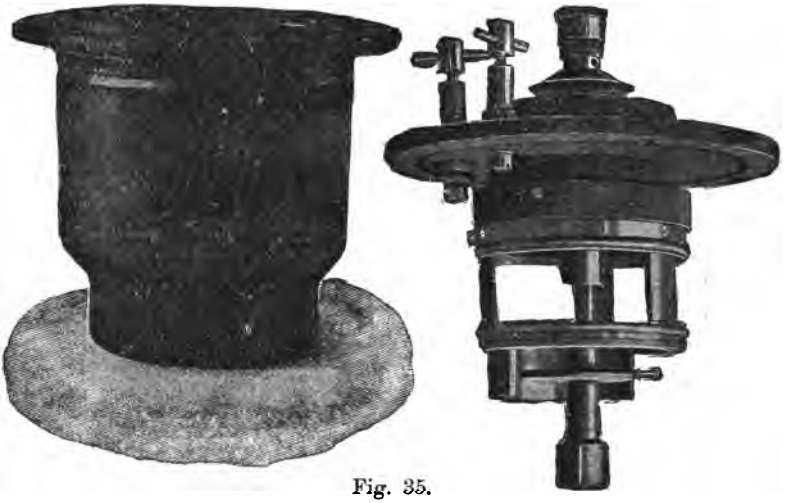


Fig. 35.

princip einzuführen, um die früher möglich gewesene, maximale Unterbrechungszahl, ca. 1500 in der Minute, etwa auf das vierfache zu steigern.

Die fortgesetzten Bemühungen führten endlich zu der äusserst sinnreichen Konstruktion eines Quecksilberturbinen-Unterbrechers (Figur 35).[1] Eine Queck-

[1]) Von Boas herrührend.

Digitized by Google

silberturbine wird durch einen kleinen Elektromotor angetrieben, dessen Tourenzahl je nach Belieben von 200 bis 1000 Umdrehungen pro Minute beträgt. Die vertikal angeordnete Turbine ist mit dem unteren Ende in Quecksilber eingetaucht, das von Flügeln, die an der Turbinenwelle angebracht sind, aufgesaugt und dann durch eine Öffnung in horizontaler Richtung ausgespritzt wird. Ein oder mehrere Metallsegmente sind konzentrisch zu der Achse so angeordnet, dass der Quecksilberstrahl diese bei einem Teil der Umdrehung treffen muss. Da das Quecksilber mit dem einen Pol der Stromleitung verbunden ist und die Segmente mit dem anderen, werden hierdurch Stromschlüsse hervorgerufen. Um die Öffnungsfunken zu vermeiden, wird das Turbinengefäss mit Alkohol gefüllt, das den Unterbrechungsfunken auslöscht.[1])

Als Ersatz für den Turbinenunterbrecher kann auch der von Grisson konstruierte Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer (Figur 36) dienen. Das Princip des Umformers besteht darin, dass aus der Gleichstromquelle zunächst der Strom hineingeschickt wird in den Kreis P_1 P_3 der Primärspule des Induktors und dieser Strom so lange geschlossen bleibt, bis darin ein bestimmtes Strommaximum aufgetreten ist. Sobald dieses erreicht ist, wird ausserdem noch

[1]) Während früher die Induktoren 50 bis höchstens 100 Watt bei einer mittleren Stromstärke von 3 Ampere verbrauchten, gestattet der beschriebene Unterbrecher bis zu 1800 Watt in den Induktor hineinzuschicken.

Digitized by Google

der Strom P_2 P_3 geschlossen. Da beide Spulen einen gemeinschaftlichen Eisenkern haben, den sie in ent-

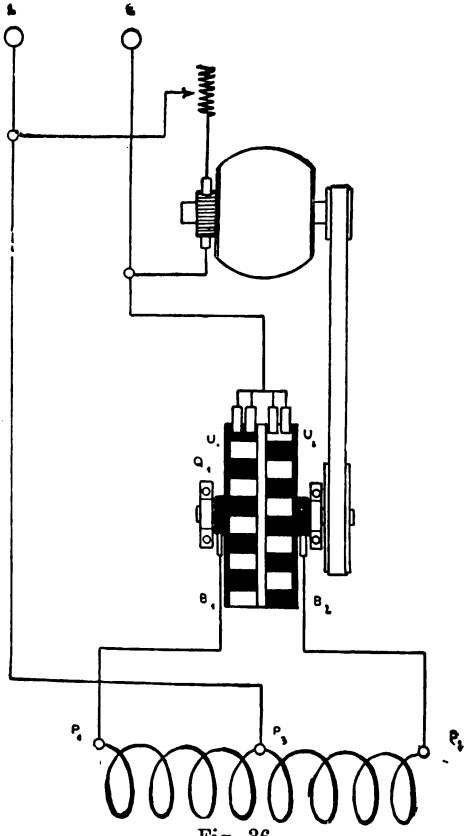


Fig. 36.

gegengesetztem Sinne magnetisieren, so wird durch die Stromschliessung P_2 P_3 im ersten Stromkreise eine

Digitized by Google

elektromotorische Gegenkraft erzeugt, welche die erste Stromstärke verkleinert und angenähert zu Null macht. In diesem Momente wird der erste Stromkreis ganz unterbrochen, worauf der Strom in P_2 P_3 seinerseits schnell zum Maximalwert anwächst. Sobald dies jedoch erreicht ist, wird P_1 P_3 wieder geschlossen und nunmehr wiederholt sich der Vorgang nach der andern Seite. Diesmal wird in dem Kreise P_2 P_3 eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt, dessen Strom verringert und im Momente des Null-Werdens unterbrochen, wodurch P_1 P_3 wieder sein Strommaximum erhält u. s. w. u. s. w.

Um diese automatische Schliessung des einen und des anderen Stromkreises oder beider gleichzeitig zu bewirken, ist eine Kontakt-Vorrichtung in Form eines Dynamo-Kollektors angebracht. Diese Kontakt-Vorrichtung besteht aus 2 Kontakträdern U_1 U_2, welche von einander isoliert auf einer gemeinschaftlichen Welle angebracht, einerseits zwei kontinuierliche Stromführungen B_1 und B_2 besitzen, andererseits eine gemeinsame Bürste, welche abwechselnd auf den Lamellen von U_1 und U_2 schleift, oder zeitweise beide miteinander verbindet. Die Teilung ist derartig eingerichtet, dass auf jedem der beiden Kollektoren-Räder U_1 U_2 die Breite der Lamellen gleich der der Luftzwischenräume ist und die Teilung von U_2 mit der von U_1 kongruent ist. U_1 und U_2 ist auf die Achse so aufgesetzt, dass die Lamellen von U_1 den Luftzwischenräumen von U_2 gegenüberstehen.

Digitized by Google

Die Kontakteinrichtung wird durch einen kleinen Motor angetrieben. Der Umformer liefert nicht pulsierenden Gleichstrom, sondern einen Wechselstrom, dessen Kurvenform zwischen weiten Grenzen geändert werden kann. Die Periodenzahl des so erzeugten Wechselstromes kann von 15 bis ca. 100 Perioden leicht variiert werden. Da keine Unterbrechung der Ströme beim Maximalwert stattfindet und daher nur kleine Unterbrechungsfunken auftreten, so ist es mög-

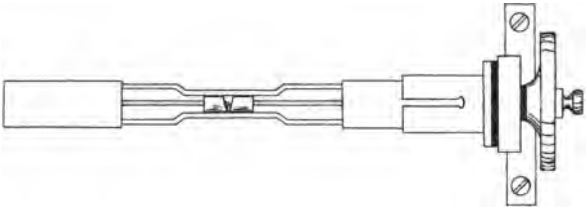


Fig. 37.

lich, mit Hilfe dieses Umformers bedeutende Stromstärken zur Speisung des Induktors zu benutzen.[1])

Auch die einzelnen Teile des Empfängers wurden einer umfassenden Durchbildung unterzogen. Seiner Wichtigkeit entsprechend in erster Reihe der Fritter.

Es kommen seitens der genannten Gesellschaft nur Vakuum-Fritter (Figur 37) zur Verwendung, und zwar aus dem Grunde, um einerseits das Fritterpulver

[1]) Ein solcher Umformer kann tagelang mit einer Primärbelastung von 2 Kilowatt betrieben werden.

Digitized by Google

gegen Oxydationsveränderungen durch den Einfluss der atmosphärischen Luft zu schützen, andererseits um das Pulver absolut trocken und dadurch leicht beweglich zu machen und um zu erreichen, dass die Gruppierung des Pulvers nach jedem Klopferschlage dieselbe bleibt. Die Kolben der Fritter bestehen aus Silber und sind in die ausgeschliffenen Glasröhren luftdicht eingesetzt, sodass zwischen Kolben und Glasrohr das sehr feine Pulver nicht eindringen kann. Die Zuführungsdrähte sind aus starkem Platindraht und führen zu Metallkapseln, welche auf die Fritterenden fest aufgegipst sind, sodass ein Abbrechen der Ausführungsdrähte ausgeschlossen ist. Sehr geschickt ist die Konstruktion des Spaltes, da sie eine Regulierbarkeit der Empfindlichkeit trotz des luftdichten Abschlusses gestattet. Die Stirnwände der Silberkolben sind nicht parallel, sondern abgeschrägt, sodass der Spalt keilförmig erscheint. Wird der Fritter so eingestellt, dass der schmale Teil des Spaltes nach unten steht, so füllt das Pulver einen grösseren Teil des Spaltes, der Pulverdruck ist vermehrt und die Empfindlichkeit im Maximum. Steht umgekehrt der breite Teil des Spaltes nach unten, so ist das Pulver auf eine grössere Längenausdehnung auseinander gezogen, der Pulverdruck ist vermindert und die Empfindlichkeit herabgesetzt.[1]) Ein an dem Fritter angebrachtes Stellrad mit Sperrfeder gestattet, den Fritter in jede beliebige Zwischen-

[1]) Die Kapazität des Fritters beträgt 0,0001 Mikrofarad.

Digitized by Google

Empfindlichkeit einzustellen und nach vorgenommener Veränderung eine bestimmte beabsichtigte Empfindlichkeit stets wieder aufs Neue herzustellen.

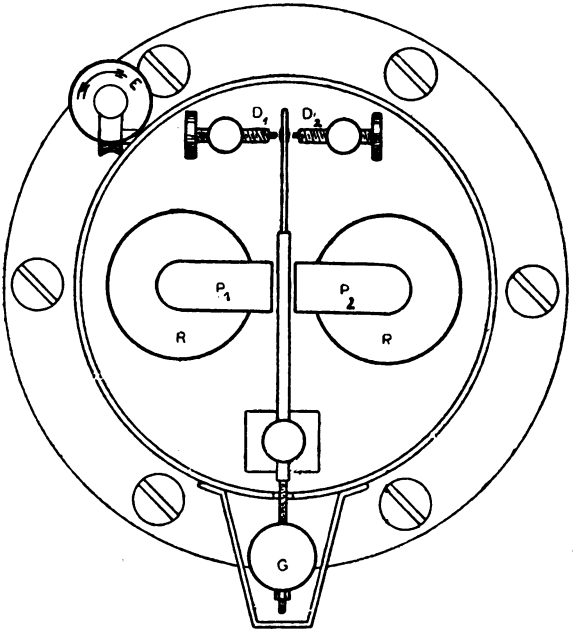


Fig. 38.

Das benutzte Relais (Figur 38) ist ein polarisiertes. Die Wirkungsweise desselben ist folgende: Ein permanenter Stahlmagnet magnetisiert einerseits die in den Spulen steckenden Eisenkerne (P_1 P_2), sodass

Digitized by Google

deren obere Polschuhe gleichnamige Magneten bleiben, andererseits eine zwischen diesen Polschuhen bewegliche Weicheisenzunge, und zwar so, dass diese die entgegengesetzte magnetische Polarität erhält. Diese Zunge wird durch zwei Anschlagkontakte D_1 D_2 in eine bestimmte räumliche Lage eingepresst. Von diesen ist D_1 Ruhekontakt, D_2 Arbeitskontakt. Durch Veränderung der räumlichen Stellung von D_1 und D_2 wird die Zunge in ein labiles magnetisches Gleichgewicht eingestellt und zwar so, dass sie bei stromlosem Relais bei D_1 anliegt. Fliesst jetzt durch die Relaiswickelung aus dem Fritter-Elemente Schwachstrom, so wird durch diesen die Magnetisierung des einen Eisenkernes verstärkt und die des anderen geschwächt. Hierdurch wird das labile Gleichgewicht der Zunge gestört und die Zunge schlägt gegen den Arbeitskontakt. Durch ein an der Relais-Zunge angebrachtes Gegengewicht G ist dieselbe in jeder Lage ausbalanciert, sodass das Relais um 90^0 gegen die Horizontale geneigt werden kann.

Die Gesamtanordnungen der Apparate beim Geber sowohl wie beim Empfänger sind in den Figuren 39, 40 und 41 wiedergegeben. Der Niederspannungskreis beim Geber (Fig. 39) enthält die Primärwicklung des Induktors, dessen Schlagweite von ca. 50 Centimeter durch einen dreistufigen Regulierwiderstand für Entfernungen bis zu 80 Kilometern auf 30 Centimeter (mittel), und für Entfernungen bis zu 40 Kilometer auf 15 Centimeter (klein) abgeschwächt werden kann. Als

Digitized by Google

Unterbrecher dient im vorliegenden Fall eine Turbine mit Motor und Anlasser, die natürlich auch durch den Grisson-Umformer ersetzt werden kann. Parallel zum Unterbrecher liegt der Primärkondensator zur Aufhebung der Selbstinduktion. Der Morsetaster, der das Ganze vervollständigt, ist mit magnetischer Funkenlöschung versehen, damit die grossen zu unterbrechenden Stromstärken nicht die Platinkontakte verbrennen. — Der

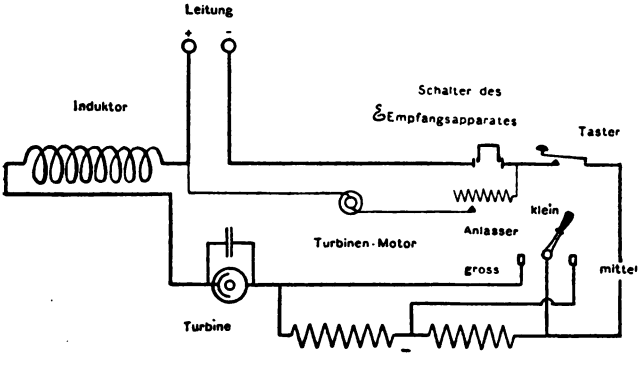


Fig. 39.

Hochspannungskreis (Fig. 40) enthält die Sekundärspule mit der Funkenstrecke F_1 und F_2, deren einer Pol über K_2 geerdet ist, nach der andern Seite hin jedoch zur Abstimmspule A auf der cylindrischen Hülle des Flaschengehäuses führt. Das letztere enthält die Batterie von Leydener Flaschen, die durch Ineinanderstellen zu Doppelflaschen [1]) gemacht worden sind. Von diesen

[1]) Jede Flasche hat eine Kapazität von 0,001 Mikrofarad.

Digitized by Google

kommen 3, 7 oder 14 zur Verwendung, je nachdem die Sendedrähte 20, 40 oder 50 Meter lang sind. Ihre inneren Belegungen sind von D aus über K_1 an den Pol F_1 der Funkenstrecke angeschlossen. Unmittelbar am Flaschengehäuse befindet sich der Luftdraht, der aus einer oder mehreren gummiisolierten Litzen besteht.

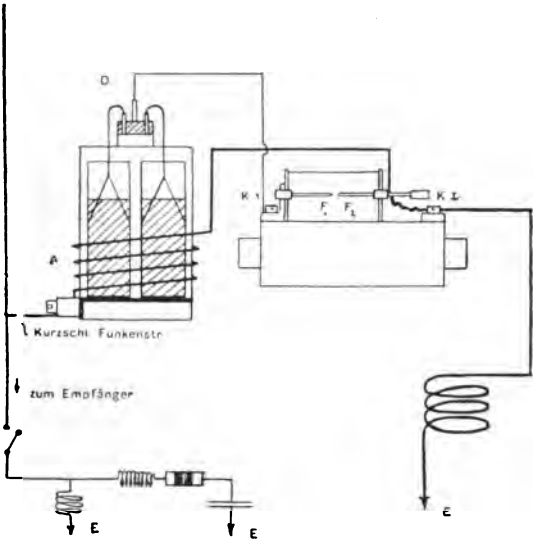


Fig. 40.

Da er gleichzeitig auch als Empfangsdraht dient, so ist zwischen ihm und dem Flaschengehäuse eine sogenannte Abschaltfunkenstrecke eingefügt, die beim Empfangen automatisch den Hochspannungskreis vom Empfänger abschaltet.

Digitized by Google

Der Empfänger (Fig. 41) enthält ebenfalls wieder zwei getrennte Stromkreise, den in der Figur durch

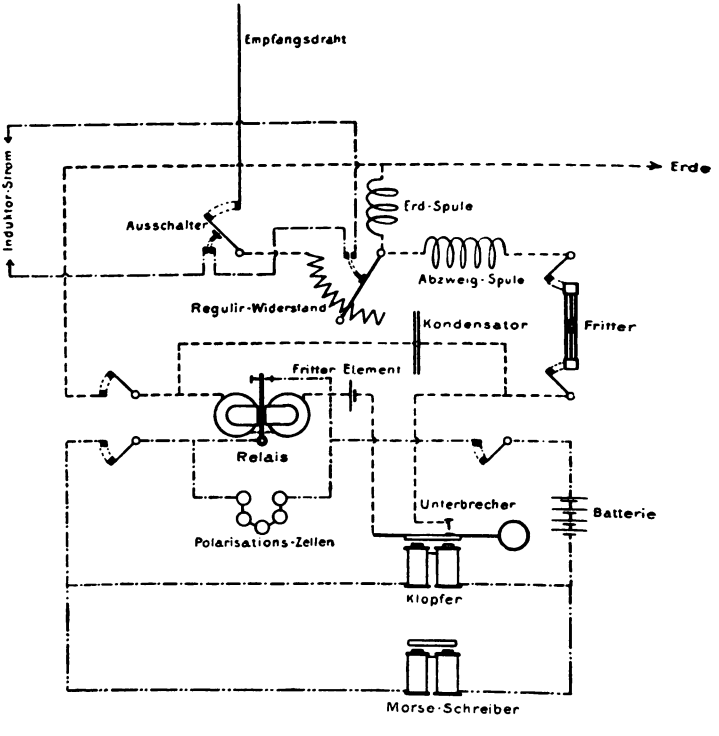


Fig. 41.

– – – – – – gekennzeichneten Schwachstromkreis und den Starkstromkreis, durch —·—·—·— dargestellt. Im Schwachstromkreis liegt der Fritter mit dem Unter-

Digitized by Google

brecher und einem Trockenelement von 1,2 bis 1,5 Volt Spannung. Ausserdem die Relaiswicklung [1]) und parallel zu dieser ein Fizeauscher Kondensator, aus Staniolblättern bestehend, die durch Glimmerscheiben von einander isoliert sind. [2]) Der Kondensator nimmt die durch die Selbstinduktion des Relais auf den Fritter wirkenden Spannungsstösse in sich auf und erleichtert dadurch das Auslösen desselben. Ein Regulierwiderstand dient zur Schwächung der Empfangsintensität beim Depeschenwechsel auf ganz geringe Entfernungen. Seine Kurbel bethätigt gleichzeitig einen Ausschalter für den Induktorstromkreis des Gebers, so dass man jedesmal vor dem Senden gezwungen ist, die Kurbel auf die Anfangsstellung zu bringen. Dadurch soll vermieden werden, dass das Zurückstellen vergessen wird. — Der Starkstromkreis besteht aus einer Batterie von 4 Trockenelementen, deren Strom durch die Relaiszunge, den Arbeitskontakt, die Klopfervorrichtung und den parallel zum Klopfer geschalteten Morseschreiber fliesst. Solange die Relaiszunge am Ruhekontakt liegt, sind ausserdem noch die sogenannten Polarisationszellen in Reihe geschaltet. Dieselben verhüten die Schwächung der Batterie, hervorgerufen durch einen Dauerstrom, während des Ruhezustandes, da sie sich durch einen kurzen Strom-

[1]) Da der Widerstand des Fritters sich bei normaler Intensität auf ca. 2000 Ohm erniedrigt, so ist auch für die Relaisspule der gleiche Widerstand gewählt worden.

[2]) Seine Kapazität beträgt 0,01 Mikrofarad, ist also im Vergleich zu der des Fritters unendlich gross.

Digitized by Google

stoss laden und dann eine elektromotorische Gegenkraft annehmen, die den Batteriestrom gleich null macht. Verschiedene Ausschalter schliessen resp. öffnen die Schwachstromleitung zum Fritter, die Starkstromleitung zum Relais, die Hochspannungs- und die Erdleitung. Ein besonderer Schalter sorgt dafür, dass, falls versehentlich beim Geben das Öffnen des Fritterschalters vergessen worden ist, beim Niederdrücken des Morsetasters der Induktor keinen Strom enthält und infolgedessen keine Funken erzeugt werden.

Bezüglich der Antennen hat die Erfahrung einige wichtige Fingerzeige gegeben. So hat es sich als prinzipiell notwendig erwiesen, dass der Sende- oder Empfangsdraht nicht vertikal, sondern unter einer bestimmten Neigung zu führen ist. Bei genau vertikaler Spannung des Drahtes nämlich würde eine Induktion in sämtlichen Erdleitern, die sich in der Nähe des Sendeleiters befinden, eintreten, durch welche eine Schwingung erzeugt werden würde, die um ca. 180° in der Phase von der des Senders verschieden ist, also dessen Fernwirkung erheblich beeinträchtigen würde. Des weiteren hat sich herausgestellt, dass es nicht nötig ist, den ganzen Sende- und Empfangsdraht als Drahtschlauch auszubilden, sondern dass ein an der Spitze angebrachter cylindrischer Käfig, der etwa 10 Procent seiner Länge ausmacht, vollauf genügt.

Über die mit diesen Einrichtungen zu erhaltenden Resultate giebt die seitens der Allgemeinen Elektrizitäts-

Digitized by Google

Gesellschaft aufgestellte Garantiekurve (Fig. 42) Aufschluss, bei welcher die Höhen der Signalmasten (in Metern) als Funktion der Entfernungen (in Kilometern) zusammengefasst sind. Dieselbe hat allerdings nur für den Verkehr über See Gültigkeit, jedoch muss anerkannt werden, dass bei ihrer Aufstellung mit grosser Vorsicht

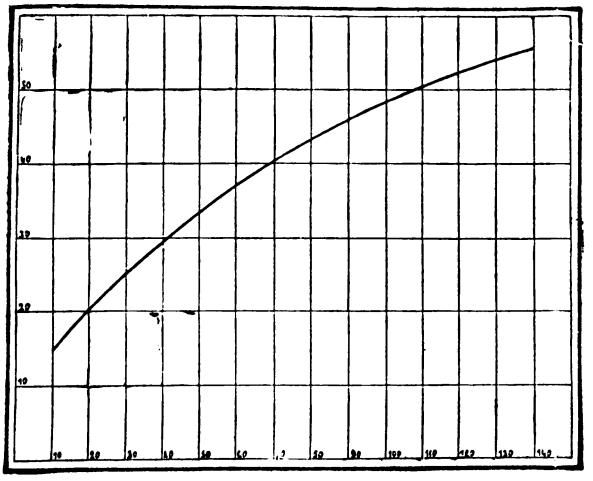


Fig. 42.

zu Werke gegangen worden ist. So tauschte beispielsweise der Schnelldampfer „Deutschland" der Hamburg-Amerika-Packetfahrt-Aktiengesellschaft mit der Landstation Duhnen bei Cuxhaven noch auf eine Entfernung von 150 Kilometern Nachrichten aus mit nur 32 Metern Masthöhe, für die nach der Kurve noch nicht die halbe Leistung zu erwarten wäre.

Digitized by Google

Neben dem Fritter lässt sich als Empfänger auch noch das Hughes'sche Mikrophon[1]) mit Erfolg verwenden, ja es hat dem Fritter gegenüber sogar den Vorzug, drei bis vier mal so empfindlich zu sein, so dass die mit ihm zu erzielende maximale Signalentfernung wesentlich grösser als bei Verwendung des Fritters ist. Dem steht allerdings als Übelstand gegenüber, dass es wegen seines sehr variablen Widerstandes noch nicht gelungen ist, die ankommenden Stromimpulse durch Vermittelung eines Relais aufzuzeichnen. Man erhält also keine Niederschrift des Signals, sondern kann dasselbe nur mittels eines Telephons abhören, das, da auch der Anruf fehlt, unter dauernder Bewachung stehen muss. — Bei Verwendung eines Mikrophons ist die Schaltung etwas anders zu wählen, als beim Fritter, da es im Gegensatz zu dem letzteren nicht auf Spannungen, sondern auf Stromstärken anspricht. Es ist also in einen Strombauch zu schalten, der — wie wir auf Seite 25 gesehen haben — dort

[1]) Das Hughes-Mikrophon besteht in seiner ursprünglichen Form aus zwei Kohlenstückchen, die sich mit ihren rauhen Flächen leicht berühren. Bei einem Druck, und sei er auch nur durch Schallwellen erzeugt, ändert sich der Widerstand, den die Berührungsstelle dem sie passierenden Strom gegenüber hat. Der letztere wird also stärker und schwächer werden und dementsprechende Schwingungen einer Telephonmembrane veranlassen, die sich für das menschliche Ohr als Töne zu erkennen geben. Die Stelle der Schallwellen nehmen in unserm Falle die elektrischen Schwingungen ein, die dieselbe Wirkung hervorzurufen im Stande sind. In neuerer Zeit verwendet man statt der Kohlenklötzchen auch noch Kohlen- oder Metallkörner, die sich als empfindlicher erwiesen haben.

Digitized by Google

seine grösste Amplitude hat, wo für die Spannung ein Knotenpunkt besteht. Ein solcher befindet sich nun

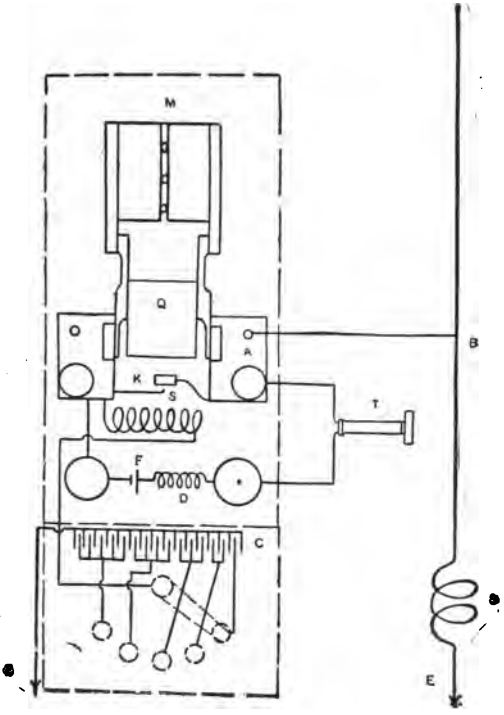


Fig. 43.

am Erdungspunkt des Empfangsleiters, infolgedessen ist das Mikrophon dicht über diesem anzubringen.

Die Abstimmung eines Mikrophonempfängers geschieht durch folgende Schaltung (Figur 43): Mit dem

Digitized by Google

in E geerdeten und durch die Spule S abgestimmten Empfangsleiter ist durch A B ein Schwingungskreis verbunden, der durch die Selbstinduktion S und den mittels Kurbel regulierbaren, bei E geerdeten Kondensator C auf die Eigenschwingung des Gebers abgestimmt ist. In der Verzweigung befindet sich ferner das Trockenelement F, das durch den doppelpoligen Schalter Q mit dem Körnermikrophon M und dem Telephon T durch eine Drosselspule D hindurch in Reihe geschaltet ist. Durch Schliessen und Öffnen eines Kontaktknopfes K wird das Mikrophon zum Ansprechen gebracht, sodass durch das Telephon T ein schwacher Dauerstrom entsprechend dem Widerstande von M fliesst, der sich eben durch das Auftreffen der elektrischen Wellen bei S ändert und das wahrnehmbare Geräusch veranlasst.

Infolge seiner Empfindlichkeit eignet sich ein Mikrophonempfänger hauptsächlich für leicht bewegliche Stationen über kleinere Entfernungen, bei denen man eine Lichtleitung nicht immer zur Verfügung hat und deswegen kleinere Induktoren als Sender benutzen muss. Eine derartige kombinierte Sende- und Empfangseinrichtung sehen wir in Figur 44. Ein Induktorium A mit einer Schlagweite von ca. 10 mm wird durch zwei kleine, in einem Kasten eingebettete Akkumulatoren A gespeist, die Unterbrechung erfolgt durch den Hammer P. Die unterschiedlichen Stromschlüsse stellt der Morsetaster M her. Von der Funkenstrecke F ist ein Pol geerdet, der andere führt zu dem durch einen Drachen D

Digitized by Google

gehaltenen Sendedraht. Der Empfänger besteht in dem Mikrophon M, welches durch eine Abstimmungsspule bei E geerdet ist und abwechselnd mit dem

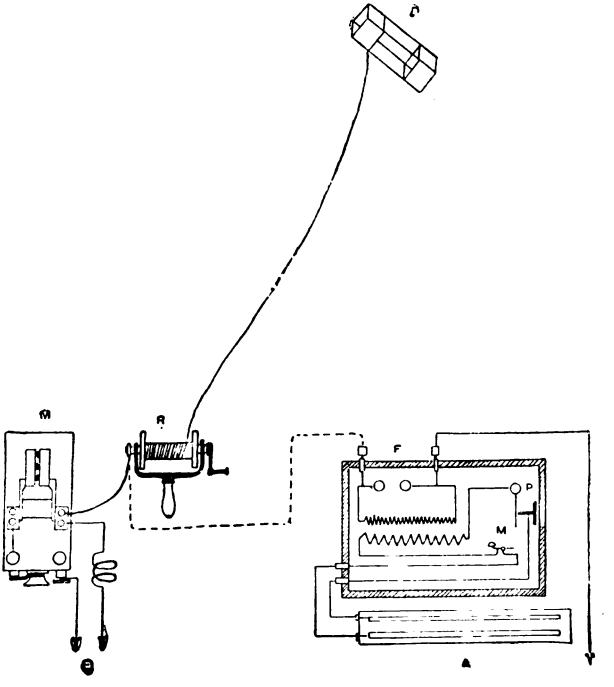


Fig. 44.

Induktorium an die Aufrollspule R angeschlossen werden kann. Die maximale Signaldistanz mit dieser Einrichtung beträgt ca. 15 bis 20 Kilometer.

Digitized by Google

In Verbindung mit Professor Braun, Strassburg, hat auch die Firma Siemens & Halske, Berlin, ein eigenes System der Telegraphie ohne Draht ausgebildet, das, gestützt auf eine Reihe logischer Schlüsse, von Tag zu Tag an Bedeutung gewinnt. Braun trennt den Sendedraht von der Funkenstrecke aus der richtigen Erwägung heraus, dass in der unmittelbaren Verbindung beider, wie sie die andern Systeme aufweisen, eine offenbare Begrenzung der wirksamen Spannung liegt; denn der Funken darf bekanntlich, um aktiv zu sein, eine bestimmte Länge nicht überschreiten. Bei ihm werden die elektrischen Schwingungen nicht in dem stark gedämpften Mast selbst erregt, sondern in einem schwach gedämpften primären Schwingungskreis mit grosser Kapazität, also grossem Energievorrat, und von hier aus durch Transformation erst auf den Mast selbst übertragen. Die von diesem ausgestrahlte Energie wird dann von der geschlossenen Strombahn unaufhörlich nachgeliefert, so dass auf diese Weise die Schwingungen länger aufrecht erhalten werden. Sie wachsen im Sendedraht erst allmählich auf ihren grössten Wert an, und gestatten, wenn die Länge des letzteren auf Resonnanz bemessen ist, d. h. ein Viertel der Wellenlänge beträgt, die grösstmögliche Energieübertragung; gleichzeitig erweitern sie das Gebiet der für die Abstimmung verwendbaren Schwingungszahlen ausserordentlich. Als langsame Schwingungen bieten sie ferner den Vorteil, dass Hindernisse, die sich ihnen in den Weg stellen, nach akustischen Analogien zu

Digitized by Google

schliessen, keine scharfen Schatten werfen; wie lange, akustische Wellen wandern sie um die Gegenstände herum. Allerdings darf ihre Frequenz nicht zu tief heruntergehen.

Die Anordnung, die Braun dem Sender giebt (Figur 45), entspricht genau den Einrichtungen, die Tesla zur Erzeugung seiner Ströme höchster Spannung an-

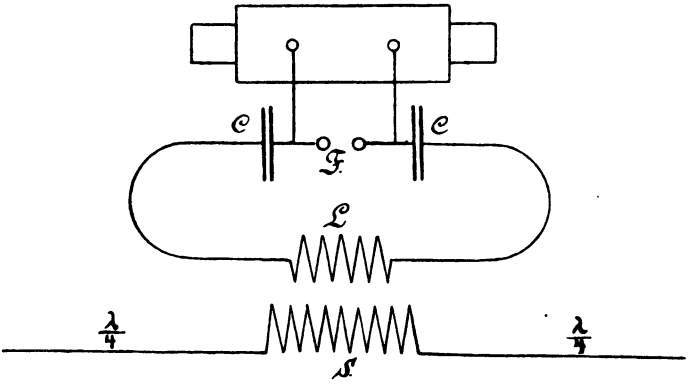


Fig. 45.

gewendet hat. Ein Induktorium mit der Funkenstrecke F ladet zunächst eine Batterie von Leydener Flaschen C, die ihrerseits wieder den Strom in die Primärspule L eines Hochspannungstransformators schicken, dessen Sekundärspule S mit zwei Ansätzen, jeder gleich einer viertel Wellenlänge, versehen ist. Während der erste Ansatz als Sendedraht dient, soll

Digitized by Google

der zweite nur den Gleichgewichtszustand herstellen, und lässt sich praktisch durch passend gewählte Kapazitäten (Platten oder Cylinder) ersetzen. Auch die Erde kann man an Stelle des zweiten Ansatzdrahtes als Kapazität benutzen, nur ist sie nach Brauns Ansicht kein empfehlenswerter Ersatz, ganz abgesehen davon, dass sie durch atmosphärische Einflüsse verursachten Störungen Vorschub leistet.

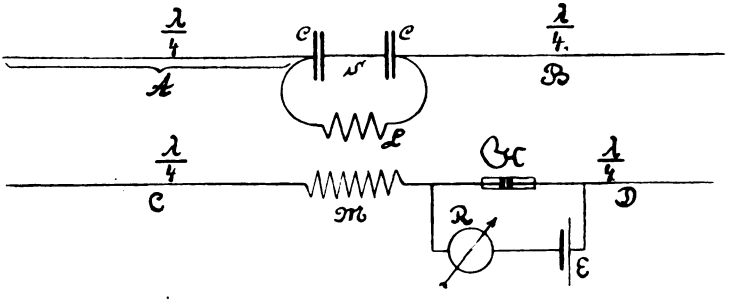


Fig. 46.

In ganz ähnlicher Weise wie der Sender ist auch der Empfänger (Figur 46) konstruiert. Er bildet gewissermassen die Umkehrung des Gebers, damit die Schwingungen eine für ihren Verlauf günstigste Bahn vorfinden sollen.[1]) Der Luftdraht führt die ankommenden Wellen dem Schwingungskreis S, der auf die

[1]) Einer Annahme, der Max Wien in einem sehr beachtenswerten Aufsatze (Annalen d. Physik 1902, Bd. 8, pag. 686) widerspricht, da der Fritter bekanntlich auf Spannungen anspricht.

Digitized by Google

Wellenlänge des Gebers abgestimmt ist, zu. Ein weiterer Ansatz B sorgt wieder für die richtige Resonnanz, so dass in L kräftige Schwingungen erzeugt werden. Diese werden auf M übertragen, dessen Ansätze C und D regelmässige Reflexion und damit grosse Intensität erzielen. In D ist der Kohärer K eingefügt, der mit dem Relais R und dem Trockenelement E seinen eigenen Stromkreis bildet. — Da die Beobachtung ergab, dass die Dazwischenschaltung des Kohärers, wie

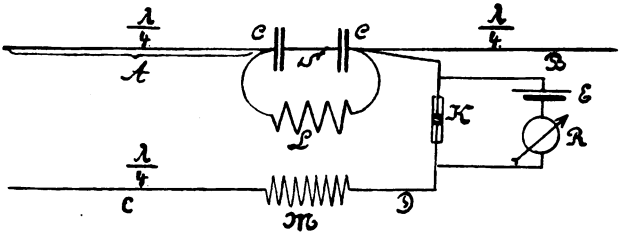


Fig. 47.

sie eben geschildert, das Zustandekommen der Resonnanz erschwert, so giebt Braun noch zwei weitere Empfangssysteme an, bei denen dieser Übelstand vermieden ist. Während in Figur 47 der Ansatz D, statt frei zu endigen, mit dem Primärkreis gekuppelt ist, bildet die Schaltung nach Figur 48 insofern noch eine wesentliche Vereinfachung, als die Transformation in Fortfall kommt. — Bei allen drei Schaltungen können die Ansätze, ausser dem Empfangsdraht A

Digitized by Google

vorteilhaft und einfacher durch Platten von grosser Oberfläche ersetzt werden.

Von der Ausführung der Apparate im einzelnen ist namentlich die der Leydener Flaschenbatterie bemerkenswert (Figur 49). Dieselbe besteht aus zwei hintereinander geschalteten Gruppen von je 20 parallel

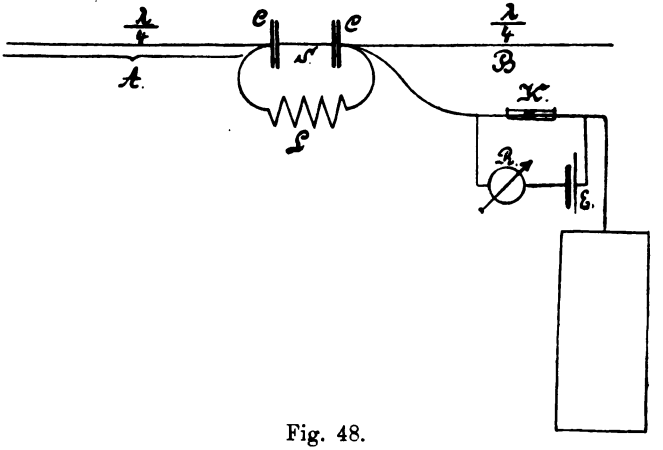


Fig. 48.

geschalteten Flaschen auf einem Gestell, welches derart eingerichtet ist, dass man die Batterie zur Änderung der Kapazität (um die Wellenlänge zu variieren) ohne Schwierigkeit verkleinern kann.[1]) In gleich einfacher Weise lassen sich auch verletzte Flaschen gegen neue

[1]) Die Kapazität der Batterie lässt sich von 0,0048 Mikrofarad bis auf 0,0002 Mikrofarad in Stufen von 0,0002 Mikrofarad verringern.

Digitized by Google

austauschen. Um die Batterie auf einen möglichst kleinen Raum unterbringen zu können, sind die Flaschen

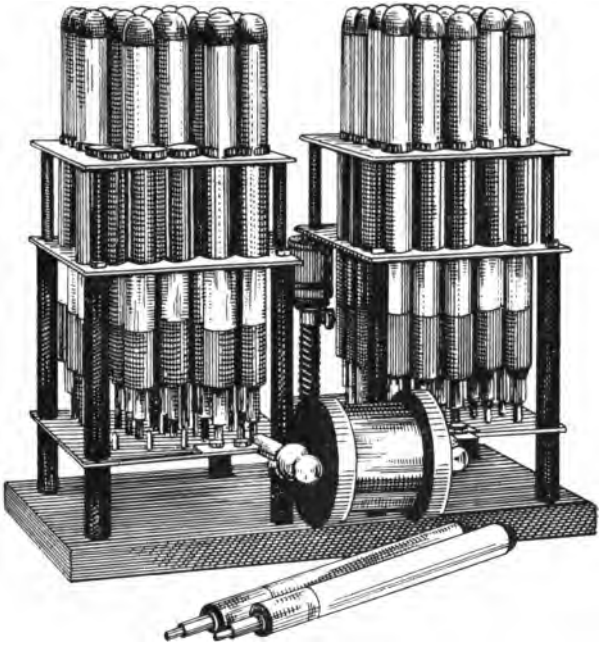


Fig. 49.

aus Glasröhren von 25 Millimeter Durchmesser gefertigt.[1]) — Der Transformator des Gebers (Figur 50)

[1]) Jede Flasche hat eine genau bestimmte Kapazität von 0,0004 bis 0,0005 Mikrofarad.

Digitized by Google

ist in ein Gefäss mit Öl eingeschlossen, da die in ihm auftretenden, wenn auch vollkommen ungefährlichen Spannungen, leicht ein Durchschlagen der Isolation hervorrufen können. Seine Primärwicklung ist so berechnet, dass sie zusammen mit der grössten Kapazität die gewünschte Wellenlänge ergiebt, während die

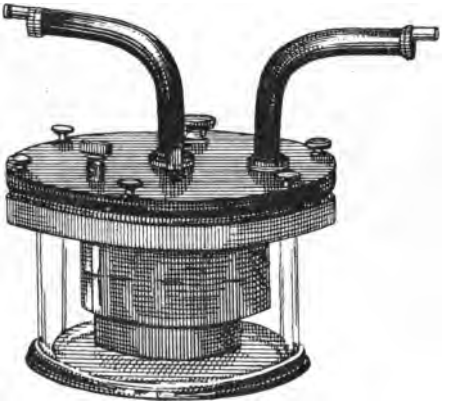


Fig. 50.

Sekundärspule, die durchaus nicht den Gesetzen gewöhnlicher Transformatoren folgt, in Verbindung mit dem zu verwendenden Luftdraht auf das Maximum der Resonnanz reguliert werden muss. Wesentlich einfacher ist die Ausführung und Dimensionierung des Kondensators und Transformators beim Empfänger, da in diesem derartig hohe Spannungen, wie im Geber, nicht

Digitized by Google

auftreten. — Eigenartig ist die Konstruktion des Kohärers (Figur 51). Derselbe besteht aus einem Hartgummirohr, in das die aus Stahl bestehenden Elektroden, deren Endflächen stets Hochglanz besitzen müssen, eingesetzt sind. Als Füllung kommt gehärtetes und gesiebtes Stahlpulver zur Anwendung, an welches die eine Elektrode, die durch eine Spiralfeder zurück-

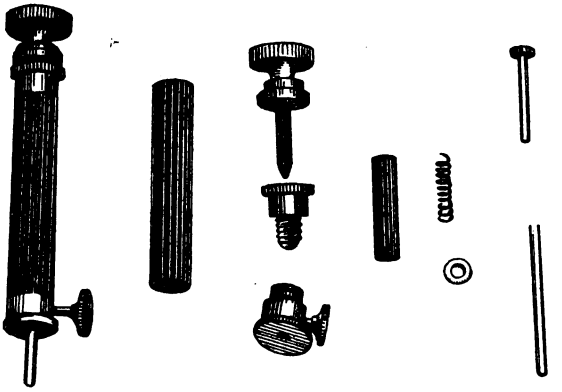


Fig. 51.

gehalten wird, vermittels einer Schraube soweit angepasst werden kann, bis die gewünschte Empfindlichkeit erreicht ist. Da beim Stahlkohärer die Beobachtung gemacht wurde, dass derselbe nicht mehr exakt arbeitet, wenn seine Elektroden magnetisch werden, dass indessen ein gewisser schwacher Magnetismus seine Empfindlichkeit erhöht, ohne die Exaktheit wesentlich zu be-

Digitized by Google

einträchtigen, so ist eine magnetische Regulier-vorrichtung vorgesehen, die den ersteren Übelstand beseitigt, den letztgenannten Vorteil jedoch zu benutzen gestattet. Diese Regulierung wird durch einen pernanenten Ringmagneten bewirkt, zwischen dessen entgegengesetzten Polen, die sich ganz nahe gegenüberstehen, die eine verlängerte Elektrode des Kohärers sich befindet. Durch Drehung des Magnetringes kann man nun nach Belieben den Nordpol oder Südpol dem Elektrodenende nähern und dadurch deren wirksame Endfläche süd- oder nordpolar in jeder gewünschten Stärke magnetisieren oder auch vollständig entmagnetisieren.

Die von Braun bezüglich seines Systems gehegten Erwartungen haben sich bisher durchaus erfüllt. Auf der 62 Kilometer langen Versuchsstrecke zwischen Helgoland und Cuxhaven funktionieren seine Einrichtungen vollkommen sicher, so dass zwischen diesen beiden Stationen eine Art Dauerverkehr eingerichtet worden ist.

In neuerer Zeit ist auch Marconi mit einem eigenen Abstimmungsverfahren an die Öffentlichkeit getreten, das aber bei näherer Betrachtung eine nahe Anlehnung an das Braunsche System erkennen lässt. In der Geberschaltung (Figur 52) befindet sich, wie bei diesem, als primärer Schwingungskreis das Induktorium in Reihe mit einer Leydener Flaschenbatterie L und einem Hochspannungstransformator. Dessen sekundäre Wicklung S ist mit dem Luftleiter G verbunden, der an seiner Spitze einen Metallcylinder C zur Erhöhung

Digitized by Google

der Kapazität und zur Verhinderung zu rascher Ausstrahlung besitzt. Um eine bestimmte, jedoch veränderliche Wellenlänge zu erzeugen, ist zwischen der Sekundärspule und dem Luftleiter oder der Erde eine Selbstinduktionsspule J eingeschaltet, welche viele zu- und abschaltbare Windungen besitzt. Beim Empfänger (Figur 53) ist der Luftleiter E ebenfalls mit einem

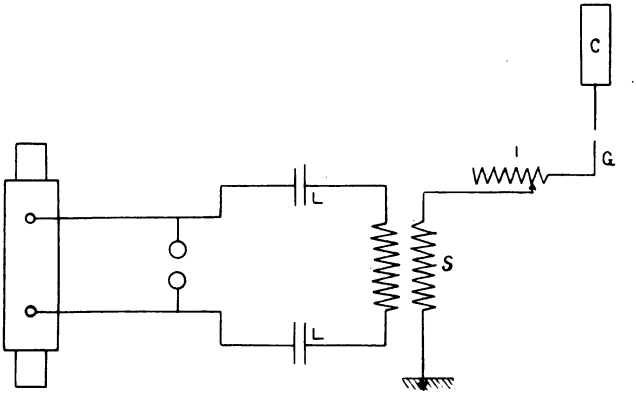


Fig. 52.

Metallcylinder C_1 und einer regulierbaren Selbstinduktionsspule versehen und geht über die primäre Wickelung P eines Transformators zur Erde. Die auftreffenden elektrischen Oscillationen werden in den sekundären Schwingungskreis durch Transformation übertragen. Die sekundäre Wickelung S_1 des Transformators ist in der Mitte geteilt, ihre inneren Enden sind mit den Platten eines Kon-

Digitized by Google

densators K, und ihre äusseren Enden über regulierbare Selbstinduktionsspulen J_2, J_3 mit dem Fritter F verbunden. Der Arbeitsstromkreis, welcher ein galvanisches Element E und ein Relais oder einen Telegraphenapparat R enthält, ist über Drosselspulen D_1, D_2 ebenfalls mit den Platten des Kondensators K verbunden. Zu dem Fritter, wie zu der primären Spule

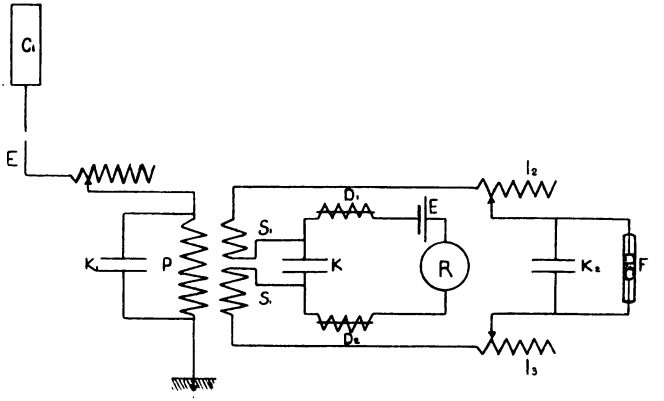


Fig. 53.

des Transformators ist je ein kleiner regulierbarer Kondensator K_2, K_1 parallel geschaltet, welcher aus zwei ineinander verschiebbaren Metallrohren besteht. Die Schwingungsperioden der primären Schwingungskreise des Senders und des Empfängers müssen zu denjenigen der sekundären Schwingungskreise abgestimmt werden. Dies wird durch Veränderung von Selbstinduktion und Kapazität dieser Kreise an den regulier-

Digitized by Google

baren Selbstinduktionsspulen J bezw. J_1 sowie an den Kondensatoren L bezw. K_1, K_2 erzielt. Die Abstimmung einer oder mehrerer Empfangsstationen auf die von einer Sendestation ausgesandten Oscillationen bestimmter Frequenz kann je nach der Länge und Kapazität der in Anwendung kommenden Luftleiter mittels Transformatoren (S, P) bestimmter Wickelungsarten und Drahtlänge, durch gänzliche Ausschaltung, Einschaltung oder geeignete Einregulierung der Selbstinduktionsspulen J, J_1, J_2, J_3 oder einiger dieser Spulen, sowie der regulierbaren Kondensatoren L, K_1 oder K_3 in den mannigfachsten Kombinationen auf das Genaueste bewerkstelligt werden. Die Drosselspulen D_1, D_2 verhindern eine die Einwirkung auf den Fritter schwächende Verzweigung der Oscillationen in dem Arbeitsstromkreise des Telegraphenapparates.

Figur 54 zeigt eine Modifikation der in Figur 52 dargestellten Schaltung des Senders. Dabei ist der einfache Luftleiter durch zwei konzentrische Metallcylinder C_1, C_2 ersetzt worden, von denen der äussere C_1 mit dem einen Ende der Selbstinduktionsspule J und der innere Cylinder mit Erde und der sekundären Spule S des Transformators verbunden ist. Die Induktanz der beiden Leiter muss ausgeglichen sein; ebenso ist eine gewisse Phasendifferenz der Oscillationen in den beiden Leitern erforderlich. Bei Verwendung von nur 7 m hohen und 1,5 m Durchmesser besitzenden Zinkcylindern auf der Gebe- und Empfangsstation erzielte man ohne Schwierigkeit guten Nach-

Digitized by Google

richten-Austausch zwischen St. Catherines und Poole bei einer Entfernung von 50 Kilometern. Die Telegramme wurden in keiner Weise durch die in unmittelbarer Nähe ausgeführten Versuche an fremden Stationen beeinträchtigt, ebenso erwiesen sich atmosphärische Entladungen ohne schädlichen Einfluss.

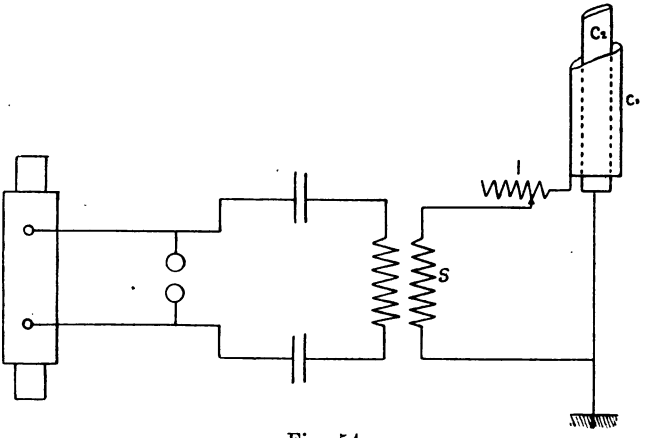


Fig. 54.

Die letzten Arbeiten Marconis beschäftigen sich mit der Schaffung eines funkentelegraphischen Verkehrs über den atlantischen Ocean. Versuche, die er am sechsten und siebenten Dezember 1901 unternahm, haben ihn überzeugt, dass sich selbst bei dieser gewaltigen Entfernung — es handelt sich um ca. 5000 Kilo-

Digitized by Google

meter — die Wirksamkeit elektrischer Wellen nachweisen lasse. Er hat bereits zwei Stationen errichtet in Poldhu auf Schottland und in St. John, Neufundland. Während für die letztgenannte Station die eben geschilderte Sendeeinrichtung zur Anwendung kommt, besteht das sendende System in Schottland aus 48 senkrechten Drähten von 65 Metern Länge im Abstand von je einem Meter. Die Betriebsspannung, mit der es geladen wird, reicht aus, um in der Luft 30 Centimeter lange Funken zu erzeugen. Die ankommenden Zeichen müssen im Telephon abgehört werden, doch hat Marconi dasselbe mit einem besonders empfindlichen magnetischen Empfänger verbunden. Der letztere enthält einen Hufeisenstahlmagnet und einen halbkreisförmig gebogenen Anker aus einem Eisendrahtbündel, das eine Bewicklung trägt und in seiner Mitte von einer flachen Spule umgeben ist. Der Hufeisenmagnet dreht sich langsam um seine Achse und unterwirft dadurch seinen feststehenden Anker fortwährenden Wechseln der Magnetisierung. Dabei bleibt infolge der Hysteresis[1]) der Magnetismus des Ankers hinter der magnetisierenden Kraft zurück. Die Ankerwicklung ist jedoch mit dem Empfangsdraht verbunden, sodass die ankommenden Wellen den hysteretischen

[1]) Unter Hysteresis versteht man eine Art magnetischer Trägheit des Eisens. Es ist nicht im stande, unmittelbar den Schwankungen einer magnetisierenden Kraft zu folgen, sondern es dauert gewisse Zeit, bis es den magnetischen Zustand teilt und ebenso auch, bis es ihn wieder aufgiebt.

Digitized by Google

Überfluss des Magnetismus wieder vernichten. Die dadurch hervorgerufene plötzliche Anderung des letzteren lässt sich in dem Telephon wahrnehmen, das an die den Anker umgebende Spule angeschlossen ist. — Bei einer anderen Form werden Eisendrähte als endloses Band über zwei Rollen geführt und von einem kräftigen Stahlmagnet magnetisiert. Die Spule, welche mit dem Empfangsdraht verbunden ist, umgiebt den Draht und wird selbst wieder von der zum Telephon geschalteten Spule umgeben. Mit diesem Empfänger hofft Marconi die Aufnahmegeschwindigkeit, die bisher ca. 35 Worte in der Minute beträgt, auf mehrere hundert steigern zu können.

Wenngleich das neue Empfangsverfahren Proben seiner Leistungsfähigkeit, aus denen sich definitive Schlüsse ziehen liessen, zur Zeit noch nicht abgelegt hat, so bestehen doch gegen seine Anwendung für den exakten Dauerverkehr, wie solcher als Konkurrenz für die Kabeltelegraphie geplant ist, von vornherein schwerwiegende Bedenken. Zunächst fehlt die selbstthätige dokumentarische Festlegung der ankommenden Impulse, die Niederschrift der abgehörten Zeichen muss mit der Hand erfolgen, und ferner ist ein Reagieren des überaus empfindlichen magnetischen Empfängers und des Telephons auf atmosphärische Störungen und auf die Thätigkeit eines zweiten Senders unvermeidlich. Da es nun für das menschliche Ohr geradezu unmöglich ist, die einzelnen Zeichen ihrer Stärke nach auseinander

Digitized by Google

zu halten, so muss zeitweise eine grenzenlose Verwirrung eintreten. — Allerdings hat Marconi bereits mehrfach Beweise einer Zähigkeit gegeben, die es nicht ausgeschlossen erscheinen lassen, dass er auch diesmal die geschilderten Übelstände aus dem Wege räumen wird. [1])

Aus Amerika kommt endlich noch die Kunde von einem neuen System, das Reginald Fessenden, Professor am Wetterbureau der Vereinigten Staaten Nordamerikas, zum Erfinder hat. Die genaue Schilderung der Apparate und Schaltungen soll jedoch erst nach Erledigung des noch schwebenden Patentverfahrens erfolgen.

Aus allen diesen Arbeiten ein abschliessendes Urteil über die Telegraphie ohne Draht fällen zu wollen, wäre verfrüht. Sicher steht ihr eine grosse Zukunft bevor, wenn wir uns auch klar werden müssen, vielleicht verwöhnt durch die ungeahnten Erfolge der Elektricität auf andern Gebieten, dass gerade hier zu grosser Optimismus unangebracht ist. Alle angeführten Übertragungsergebnisse für weitere Strecken sind aus-

---

[1]) Eingehende theoretische Betrachtungen über die einzelnen genannten Systeme enthalten namentlich die nachstehenden Publikationen, die auch mit weiteren Litteratur-Hinweisen versehen sind: A. Slaby, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie, Elektrotechnische Zeitschrift 1902, pag. 165, 254, F. Braun, Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft, Leipzig 1901, Veit & Co., G. Seibt, Elektrische Drahtwellen mit Berücksichtigung der Marconischen Wellentelegraphie, Elektrotechnische Zeitschrift 1902, pag. 315, 341, 365, 386, 409.

Digitized by Google

schliesslich auf dem Wasser erzielt worden; auf dem Lande ist trotz zahlreicher eingehenden Versuche ein nennenswerter Erfolg bisher nicht zu verzeichnen gewesen. Schon dieser eine Umstand lässt erkennen, dass es kühne Utopie ist, an ein Verschwinden des Telegraphengestänges glauben zu wollen. Die drahtlose Telegraphie wird die elektromagnetische nie verdrängen und nie ersetzen; aber als Ergänzung neben dieser für spezielle Zwecke — namentlich für Flotte und Heer — dürfte sie eine nicht unbedeutende Rolle spielen.

Digitized by Google

Kathoden- und Röntgenstrahlen.

Geisslerröhren.

Den von der Influenzmaschine oder dem Induktorium erzeugten Strömen ist in betreff ihrer Spannungshöhe eine Grenze gezogen, die von Grösse des betreffenden Apparates abhängig ist und über die sie nicht hinauszμkommen vermögen. Diese Höchstspannung wiederum bestimmt die äusserste Entfernung der beiden Pole von einander und damit auch die Funkenlänge. Denn ist die zu überspringende Luftstrecke eine zu grosse, so wird der funkenförmige Ausgleich unterbleiben.

Es lag nun nahe, den Versuch zu machen, ob nicht eine Verdünnung der Luft eine Widerstandsabnahme zur Folge hat und es ermöglicht, Entladungen auf grössere Entfernungen wie bei gewöhnlicher Dichte herbeizuführen.

Professor Plücker in Bonn im Jahre 1858 war der erste, der Untersuchungen nach dieser Richtung hin an-

Digitized by Google

stellte. Er gebrauchte längere Glasröhren, die, verschieden stark evakuiert, vollkommen geschlossen waren, jedoch unter Miteinschmelzung von Platindrahtspitzen [1]) an den Enden, Elektroden genannt. Diese letzteren wurden mit den Polen eines Induktoriums verbunden. Plücker beobachtete nun zunächst, dass der Funken in einer nur mässig ausgepumpten Röhre viel leichter übersprang, sodass man selbst bei einer zehnfach grösseren Entfernung, als die Funkenstrecke ursprünglich betrug, beim Einschalten noch eine vollkommen exakte Auslösung hatte. Je mehr jedoch die Dichte der Luft abnahm, umso eigenartiger wurde die Entladungserscheinung. Von einem Punkt des positiven Poles ausgehend, bildete der Funken eine Art rötliches Lichtband, welches mit dem Grad der Verdünnung zunehmend immer grössere Teile der Röhre anfüllte und schliesslich in ein herrliches Violett überging. Das Band war allerdings nicht ganz einheitlich; es wies abwechselnd dunkle und helle Schichten auf, von denen die letzteren namentlich in weiten Röhren uhrglasförmig gekrümmt erschienen und zwar kehrten sie die Wölbung dem negativen Pol zu. — Die negative Elektrode hingegen umgab sich mit einem blauen Glimmlicht, das durch einen dunklen Raum scharf begrenzt, unverändert auf diese beschränkt blieb. Die

[1]) Es ist notwendig, bei derartigen Einschmelzungen Platin zu nehmen, weil das einzuführende Metall denselben Ausdehnungskoeffizienten für Wärme haben muss, wie das Glas, da sonst beim Abkühlen nach der Herstellung ein Springen des Glases oder Loslösen des Drahtes erfolgt.

Digitized by Google

ganze Erscheinung war am kräftigsten, als die Luft auf ca. 2 Millimeter Druck verdünnt war.[1])

Trieb man die Verdünnung noch weiter, so wurde, entgegen der eigentlichen Vermutung, dass der Leuchteffekt noch zunähme, die Erscheinung wieder matter. Das Licht verlor sich mehr und mehr, der dunkle Raum um die Kathode herum wuchs zusehends und verdrängte das von der Anode ausgehende Licht vollständig.

Man begnügte sich damals daher mit den erhaltenen Resultaten und machte sich die Erscheinung zunächst für eine Art wissenschaftliches Spielzeug nutzbar, indem man evakuierten Glasröhren mannigfach verschlungene Formen gab (Fig 55), die beim Durchgang hochgespannter Entladungen ihrer ganzen Gestalt nach im herrlichsten Lichte erstrahlten. Um eine Variation der Erscheinung

[1]) Der Normalluftdruck — eine Atmosphäre genannt — ist nämlich im stande, einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe das Gleichgewicht zu erhalten, und so lässt sich in bequemer Weise aus der Abnahme des Druckes dem Quecksilber gegenüber der Grad der Verdünnung feststellen. — Es ist dies eine Beobachtung, die 1643 Evangelista Torricelli, ein Schüler Galileis, machte. Er füllte eine an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre mit Quecksilber, verschloss die Öffnung mit dem Finger und tauchte diese, indem er die Röhre umkehrte, in ein Gefäss mit Quecksilber. Nach Fortnahme des verschliessenden Fingers senkte sich das Quecksilber in der Röhre soweit, bis es eine Höhe von 760 mm einnahm. Wurde der Versuch auf einem Berge oder Turm wiederholt, wo die Luft dünner war, so sank auch das Quecksilber tiefer. Nachdem einige Jahre später unter Zuhilfenahme dieser Erscheinung, Pascal seine klassische Theorie vom Druck der atmosphärischen Luft aufgestellt hatte, begann man allgemein nach diesem Princip die sogenannten Barometer zu fertigen, wie sie noch heute für Höhenmessungen, Wetterbeobachtungen u. s. w. im Gebrauch sind.

Digitized by Google

herbeizuführen, fügte man stellenweise fluorescierende Glasteile, z. B. aus Uranglas, in die Röhren ein, oder füllte sie mit andern verdünnten Gasen z. B. Wasserstoff, Stickstoff, auch fluorescierenden Flüssigkeiten. So erhielt man — häufig in ein und derselben Röhre — verschieden leuchtende Farbentöne. Eine

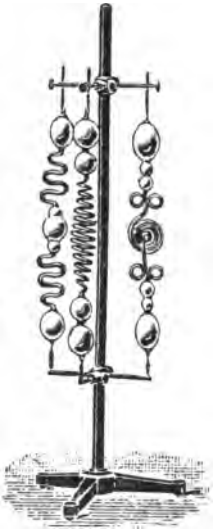


Fig. 55.

besondere Fertigkeit in der Herstellung derartiger Röhren erlangte der Glasbläser Geissler[1]) in Bonn, der

[1]) Geissler, der eine ganze Reihe wissenschaftlich wertvoller Instrumente, eine vorzügliche Luftpumpe u. s. w. erfunden hat, wurde im Jahre 1868 seitens der Universität Bonn zum Ehrendoktor der Philosophie ernannt.

Digitized by Google

auch die Plückerschen Röhren gefertigt hatte. Nach ihm erhielten sie den Namen Geissler-Röhren, eine Bezeichnung, die sie noch heute führen.

Die Röhren sollten später durch ihre Verwendbarkeit bei einer der glänzendsten Erfindungen aller Zeiten, der Spektralanalyse,[1]) zu besonderer Wichtigkeit gelangen. Mittelst der Spektralanalyse lassen sich sämtliche im Weltenraum vorhandenen Stoffe auf ihre Zusammensetzung hin untersuchen, da jedes Element — also ein chemisch nicht weiter teilbarer Stoff —, im gasförmigen Zustand beim Aufleuchten durch ein Prisma zerlegt, ein besonderes, einzig und allein ihm charakteristisches Spektrum zeigt. — Die hohe Bedeutung dieser Entdeckung für die Astronomie und Chemie erwies sich bald. Durch sie gelang es z. B., die chemische Natur der in den Himmelskörpern leuchtenden Substanzen festzustellen, auch bei der Genauigkeit, mit der die Methode arbeitet, — beispielsweise genügt $^1/_{100000}$ mg Kochsalz schon, um in der Flamme spektroskopisch das Vorhandensein von Natrium erkennen zu lassen — einige nur in sehr geringen Quantitäten vorkommende und darum vorher unbekannte Elemente, wie das Caesium, Rubidium, Thallium, Indium und Gallium, zu entdecken.

Hier kommen die Geisslerschen Röhren zu statten, und zwar hauptsächlich, wenn es sich um seltenere Stoffe handelt. Man füllt mit dem betreffenden Gas

[1]) Von Kirchhoff und Bunsen im Jahre 1859 erdacht.

Digitized by Google

eine Röhre und bringt diese durch ein Induktorium oder eine Influenzmaschine zum Aufleuchten. Dabei ist eine Verflüchtigung ausgeschlossen und es können beliebig viele Beobachtungen vorgenommen werden, ein Umstand, der für die bei derartigen Untersuchungen höchst notwendige Kontrolle sehr ins Gewicht fällt. Solche Spektralröhren sind natürlich ausschliesslich aus weissem Glase gefertigt und weisen eine ganz einfache Form auf (Fig. 56).

Fig. 56.

Die Kathodenstrahlen.

Hatte so die Eigenschaft hochgespannter Ströme, verdünnte Gase zum Aufleuchten zu bringen, bereits ihre praktische Anwendung gefunden, so liess es der den Forschern eigene, rastlose Geist nicht zu, auf halbem Wege stehen zu bleiben. Im Jahre 1869 machte sich ein deutscher Gelehrter, Hittorf[1]), daran, auch die Erscheinungen im Vakuum unter 2 Millimeter Druck einer Beobachtung zu unterziehen. Die erhaltenen Resultate, die hochinteressant und wissenschaftlich

[1]) Johann Wilhelm Hittorf, geb. d. 27. März 1824 in Bonn, seit 1852 Professor in Münster.

Digitized by Google

äusserst wichtig waren, blieben aber lange Zeit unbeachtet, da er sie unter dem zu bescheidenen Titel: „Über Elektricitätsleitung in Gasen“ veröffentlicht hatte. Erst zehn Jahre später, 1879, sollten sie gerechte Anerkennung finden, als der englische Forscher Crookes [1]) in einem Vortrag dieselben wiederholte und, da ihm Hittorfs Arbeiten unbekannt geblieben waren, das Recht der Autorschaft für sich in Anspruch nehmen wollte.

Die Versuche beider Forscher, die sich im wesentlichen decken, erbrachten in der Hauptsache die nachstehend näher ausgeführten Resultate. Wird die Verdünnung der Luft in den Geisslerröhren fortgesetzt, so verblasst — wie bereits erwähnt — der Leuchteffekt mehr und mehr, der dunkele Raum um die Kathode herum erweitert sich zusehends, das Licht an der Anode wird infolgedessen immer kleiner, bis es bei einem Druck von ca. $^1/_{1000}$ Millimeter — also dem ca. $^1/_{1000\,000}$ Teil des Normalluftdrucks — ganz verschwindet. Dafür beginnt jedoch die der Kathode gegenüberliegende Glaswand der Röhre lebhaft zu fluorescieren und zwar beschränkt sich dieses Leuchten in scharfer Begrenzung einzig und allein auf den der Kathode entsprechenden Teil. Bei einer Umschaltung, d. h. also, wenn man die bisherige Anode zur Kathode macht, wandert es stets der letzteren entsprechend mit. Die dabei zur Verwendung kommenden Glassorten

[1]) William Crookes, Physiker und Chemiker, geb. 1832 zu London, Herausgeber der Chemical News und des Quarterly Journal of sciences.

Digitized by Google

sprechen durchaus nicht mit; selbst die aus hiesigem Glase gefertigten Röhren, die sonst durchaus nicht zur Fluorescenz neigen, strahlen ein intensiv gelbgrünes Licht aus.

Dieses Fluorescenzlicht wird durch eine Strahlenart, nach ihrem Ausgangspunkte „Kathodenstrahlen" genannt, hervorgerufen, die verschiedene sehr merkwürdige Eigenschaften aufweist. Zunächst die, dass sie sich unbeeinflusst von der Anode stets gradlinig von der Kathode ausbreitet. Crookes verwendet für den demonstrativen Beweis zwei übereinstimmende, kugelförmige Glaskörper (Fig. 57), von denen der eine (A) die Verdünnung der Geisslerröhren aufweist, während der andere (B) weit stärker — bis auf ungefähr $^1/_{1000\,000}$ Atmosphäre — evakuiert ist. In beiden Körpern wird die Kathode durch ein hohlspiegelartig geformtes Blech a dargestellt, der als Anode drei an verschiedenen Stellen befestigte Stifte b, c, d gegenüberstehen, die einzeln mit der Leitung verbunden werden können. Während nun beim Stromdurchgang in der ersten Röhre das leuchtende Band eine Verbindung zwischen der Kathode und der jeweilig angeschlossenen Anode bildet, also mit der letzteren stets seine Richtung wechselt, tritt bei der zweiten ein der Kathode entsprechender Fluorescenzfleck an der dieser gegenüberliegenden Glaswand auf, der in keiner Weise bei einem Anodenwechsel seine Stellung verändert. — Noch deutlicher wird die Erscheinung bei einer Röhre von V-förmiger Gestalt, bei der die unten befestigte Kathode in den rechten

Digitized by Google

Schenkel hineinragt (Figur 58). Wird selbst diejenige Anode, die in der linken Schenkelspitze ihren Platz

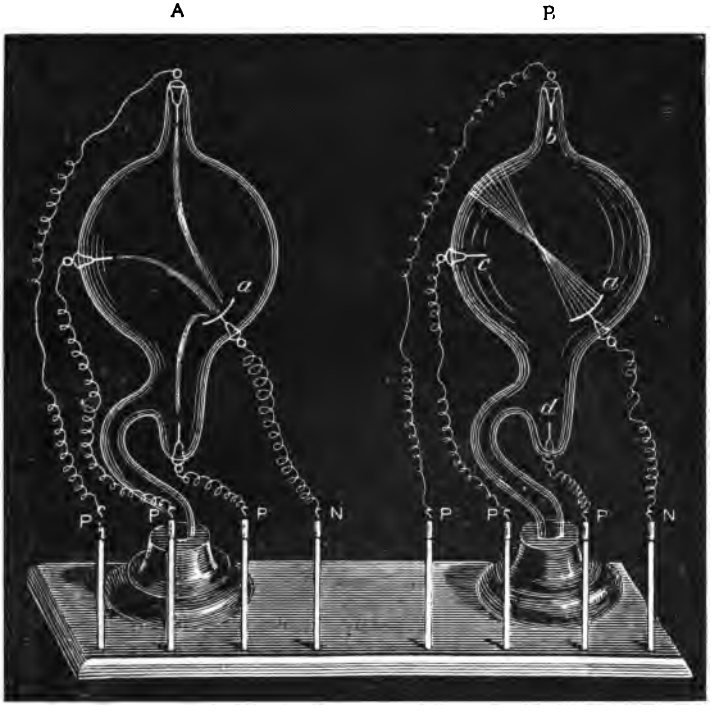


Fig. 57.

hat, angeschlossen, so breiten sich doch die Kathodenstrahlen ausschliesslich längs des linken Schenkels aus.

Digitized by Google

Treffen die Kathodenstrahlen auf nichtmetallische Substanzen, z. B. Magnesit, Pektolith, Schwefelcalcium u. s. w., so bringen sie dieselben zum lebhaften Aufleuchten, und zwar dauert die Erscheinung noch

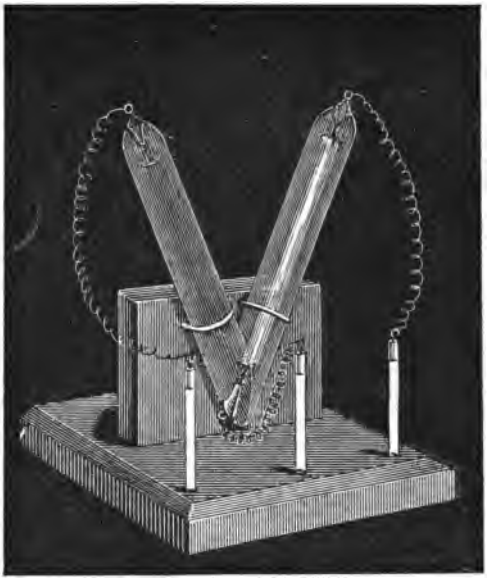


Fig. 58.

längere Zeit nach dem Aufhören der Bestrahlung fort. Namentlich der Diamant sendet ein kerzenhelles Licht aus (Figur 59), während Rubine ein prächtig leuchtendes Rot annehmen (Figur 60), das den Anschein erweckt, als seien die Steine glühend. — Ist jedoch der in die

Digitized by Google

Strahlenbahn gebrachte Gegenstand metallischer Natur, so wirft derselbe an der aufleuchtenden Wand ein scharfes Schattenbild, das bei Entfernung des Gegenstandes — z. B. durch Umklappen des an einem Scharnier befestigten Kreuzes (Figur 61) — sich durch

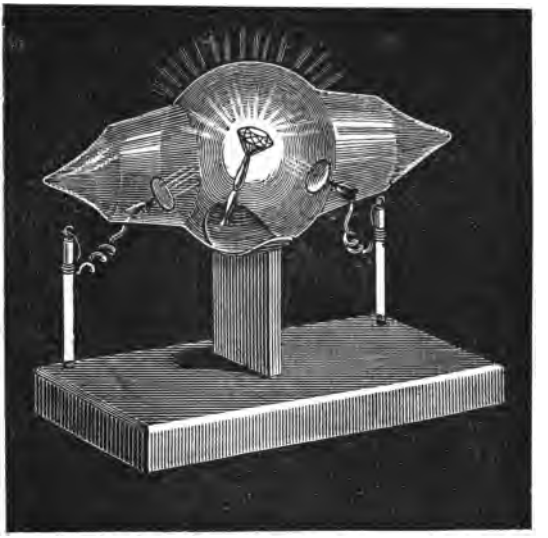


Fig. 59.

ein besonders helles Leuchten noch längere Zeit von seiner Umgebung abhebt.

Wird in die Glasröhre ein leicht beweglicher Gegenstand eingeschmolzen, z. B. ein kleines Rad, dessen Speichen breite Glimmerschaufeln tragen und das mit

Digitized by Google

seiner Achse auf einer gläsernen Schienenbahn ruht (Figur 62), so wird unter dem Einfluss der Kathoden-

Fig. 60.

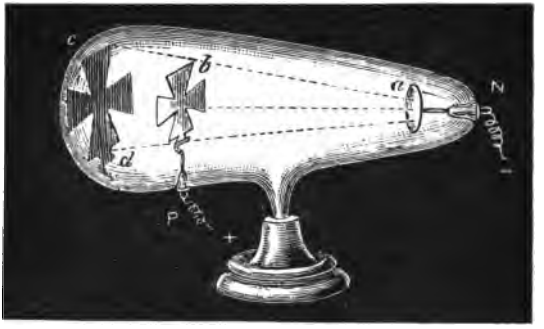


Fig. 61.

strahlen das Rad entgegengesetzt der Kathode getrieben und zwar mit so grosser Kraft, dass es bei etwas geneigter Röhre selbst den Weg bergan unternimmt.

Digitized by Google

Eine weitere Eigenschaft der Kathodenstrahlen besteht darin, dass sie sich durch einen Magneten ablenken lassen. Dasselbe lässt sich auch mit dem Farbband einer Geisslerröhre erzielen, jedoch macht das letztere an der Stelle, wo sich der Magnet befindet, nur eine Ausbuchtung, die des weiteren seine ursprüngliche Richtung durchaus nicht beeinflusst.

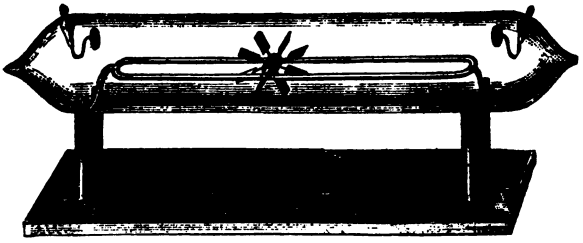


Fig. 62.

Anders liegt die Sache bei den Kathodenstrahlen, wie sich durch die folgende Einrichtung leicht nachweisen lässt. Dicht vor der Kathode ist ein Glimmerplättchen mit einer spaltförmigen Öffnung in der Mitte angebracht, die nur ein ganz schmales Strahlenbündel hindurchlässt. Um dieses sichtbar zu machen, befindet sich in der Röhre der ganzen Länge nach ein mit Kreide bestrichener Schirm, auf dem sich der Strahlenweg als Fluorescenzstreif aufzeichnet. Nähert man nun der Röhre einen Magneten, so werden die Strahlen der Magnetstellung entsprechend abgelenkt und sind nicht im Stande, die

Digitized by Google

frühere Bahn wieder einzunehmen, sondern beharren in der veränderten Richtung. So bieten sie das Bild einer gekrümmten Fläche (Figur 63).[1])

Diese Eigenschaft der magnetischen Ablenkbarkeit und die früher beschriebene der Kraftentwicklung hat Crookes zur Demonstration in geistreicher Weise in einer Röhre vereinigt. Die Kathode (Figur 64, a b) hat die Gestalt einer flachen Schaale. Ihr gegenüber befindet sich ein Glimmerschirm (c d), hinter dem

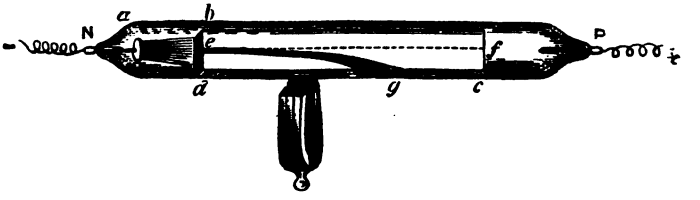


Fig. 63.

drehbar ein ebenfalls aus Glimmer bestehendes Schaufelrad (e f) befestigt ist. Im gewöhnlichen Zustand werden beim Stromdurchgang die Kathodenstrahlen von der Glimmerplatte abgefangen. Bringt man jedoch ober-

[1]) Auch bei Anwendung eines elektrischen Feldes, dessen Richtung senkrecht zur Richtung der Kathodenstrahlen steht, tritt die gleiche Erscheinung auf. Die Kathodenstrahlen krümmen sich der positiven Richtung der Kraftlinien entgegen. In einem den Kathodenstrahlen gleichgerichteten Felde, je nach dem Vorzeichen des letzteren, vergrössert oder verkleinert sich die Geschwindigkeit der Strahlen.

Digitized by Google

halb oder unterhalb der Röhre einen Magneten (g) an, so wird die Strahlung in der abgelenkten Richtung an der Glimmerplatte vorbeistreichen und das Rad zur Umdrehung bringen.

Dort, wo die Strahlen auftreffen, machen sie sich durch intensive Wärmeentwicklung wahrnehmbar. In

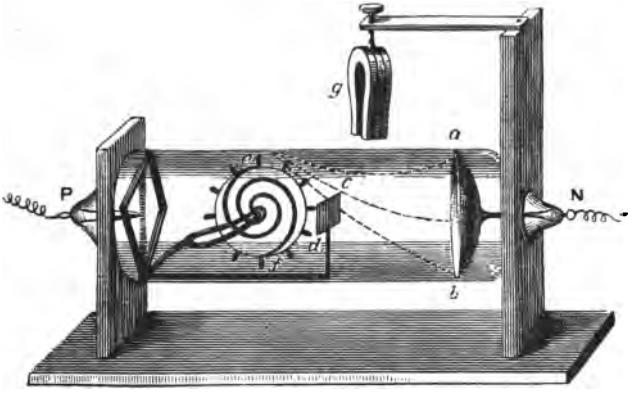


Fig. 64.

einer Röhre mit einer hohlspiegelartigen Kathode, die alle Strahlen in einem Brennpunkte vereinigt, wird ein in diesem befindliches Stück Iridioplatin zum Schmelzen gebracht (Figur 65).[1])

[1]) **Auch die elektrostatische Beeinflussung der Kathodenstrahlen ist nachgewiesen worden, zuerst von W. Kaufmann 1899. Bei Annäherung eines geriebenen Ebonitstabes vergrössert sich der Fluorescenzfleck augenblicklich, während beim Heranhalten eines geriebenen Glasstabes sofort eine merkliche Verkleinerung eintritt.**

Digitized by Google

Ausser diesen Strahlen tritt jedoch an der Kathode noch eine zweite Strahlenart auf, die sich von der eben beschriebenen wesentlich unterscheidet. Sie wurde zuerst von E. Goldstein, ebenfalls einem verdienstvollen

Fig. 65.

Forscher auf diesem Gebiete, beobachtet, und zwar in einer Röhre, wie sie in Figur 66 dargestellt ist. Die an der Verengerung der oberen Röhre befindliche Kathode besteht aus einem durchbrochenen, rostähnlichen

Digitized by Google

Aluminiumblech, ausserdem sind zwei Anoden vorhanden, von denen die eine der Kathode gegenüber, die andere jedoch in einem zweiten Rohr darunter angebracht sind. Verbindet man nun eine der letzteren und die Kathode mit einem Induktorium, so treten aus den von dem Rost gebildeten Kanälen Strahlen von violetter Farbe, die sich magnetisch nicht beeinflussen lassen, während die eigentlichen Kathodenstrahlen, wie wir gesehen haben, stark abgelenkt werden, ebenso

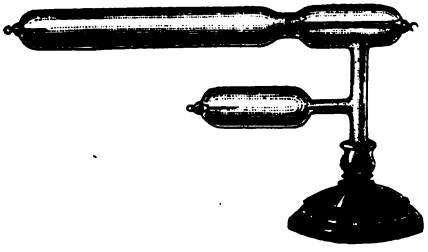


Fig. 66.

auch das an der Anode auftretende Lichtbündel, ein Vorgang, der sich im unteren Rohr sehr gut beobachten lässt. Damit jedoch dieses Lichtbündel sichtbar auftreten kann, darf die Evakuierung der Röhre nicht zu weit getrieben sein, da bekanntlich die Erscheinung sonst vollkommen zurücktritt.

Dass aber auch von der Anode aus eine Wirkung sich in der Röhre fortpflanzt, bewies Willi Wien, Würzburg, dadurch, dass er die ungefähr in der Mitte

Digitized by Google

der Röhre befindliche Kathode durchlöcherte (Figur 67). So werden die von der Anode kommenden und auf die Kathode zugehenden Strahlen von den Öffnungen der letzteren hindurchgelassen und fallen nun in den von Kathodenstrahlen freien hinteren Teil der Röhre. Ihrer Beobachtungsweise nach bezeichnet sie Wien mit Kanalstrahlen.

Über das Wesen aller dieser Erscheinungen wurden von verschiedenen Seiten Theorien aufgestellt, die in Physikerkreisen zu einem ziemlich erregten Meinungsaustausch führten. Den ersten Anstoss dazu gab die

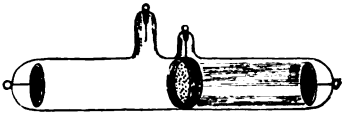


Fig. 67.

Ansicht Crookes, die dieser in dem eingangs erwähnten Vortrag, in dem er die verschiedenen Eigenschaften der Kathodenstrahlen experimentell vorführte, äusserte. — Der genannte Gelehrte erklärt den Vorgang der Strahlung in den Röhren unter Zugrundelegung der kinetischen Gastheorie in folgender Weise: Die Moleküle, aus denen sich jeder gasförmige Körper zusammensetzt, sind mit Energie ausgestattet und durcheilen mit ausserordentlicher Geschwindigkeit den Raum. Bei ihrer Menge prallen sie jedoch allenthalben zusammen, stossen sich ab und setzen dann ihren Flug gradlinig

Digitized by Google

nach einer anderen Richtung hin fort. Sind aber weniger Moleküle vorhanden — also bei einer Luftverdünnung —, so ist die Möglichkeit eines Zusammenpralls geringer, folgedessen auch die ihnen vom Strom mitgeteilte Energie ungeschwächter, d. h. also grösser und ebenso ihre Flugbahn ausgedehnter. Diese Eigenschaften bilden die unmittelbare Ursache der Strahlung.

Aber Crookes geht mit seiner Ansicht noch weiter. Er glaubt nämlich hier den sogenannten vierten Aggregatzustand[1]) der Körper gefunden zu haben, den Faraday mit „Strahlende Materie“ bezeichnet und von dem der Letztere meint:

„Wenn wir uns einen Übergang denken, ebensoweit über die Verdampfung hinaus, wie diese über dem flüssigen Zustande liegt, und wenn wir den mit fortschreitenden Übergängen verhältnismässig gesteigerten Betrag der Veränderung in Betracht ziehen, so werden wir vielleicht, sofern wir uns überhaupt eine Vorstellung davon bilden können, nicht weit von der strahlenden Materie treffen. Und wie bei der vorigen Umwandlung manche Eigenschaften verloren gingen, so werden hier wohl noch viel mehr verschwinden.“

Als Gründe für seine Auffassung giebt Crookes den hohen Grad Verdünnung an, der eine Trennung des Gases in seine nicht weiter teilbaren Uratome, die

[1]) Man unterscheidet bisher aus der Verschiedenheit des Zusammenhangs ihrer Teile bei allen Körpern drei Aggregatzustände, deren jeder seine sofort wahrnehmbaren, charakteristischen Merkmale aufweist, den festen, den tropfbar flüssigen und den luftförmigen Zustand.

Digitized by Google

sogenannten Jonen [1]) gestattet, und dann die Verschiedenheit der Erscheinungen gegenüber denjenigen, die bei Gasen gewöhnlichen Druckes auftreten. Das Endrésumé seiner Forschungen fasst Crookes in folgendem Satze zusammen:

„Beim Studium dieses vierten Aggregatzustandes der Materie scheinen wir endlich unter unsern Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen unteilbaren Teilchen zu haben, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt, dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. Wir haben gesehen, dass in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist, als dieser Tisch, während sie in andern Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben thatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft ineinander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und dem Unbekannten, welches stets einen grossen Reiz für mich gehabt hat. — Ich denke, dass die grössten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst noch darüber hinaus; hier, so scheint's mir, liegen die letzten Realitäten."

Dass eine derartige, an Kühnheit beispiellose Äusserung nicht ohne Erwiderungen bleiben würde, war vorauszusehen. — Zunächst war es ein Wiener

---

[1]) Der Name „Jonen" ist von Faraday gewählt und heisst die „Wandernden".

Digitized by Google

Gelehrter, Puluj, den einige Beobachtungen veranlassten, der Annahme Crookes' zu widersprechen. Nach Puluj handelt es sich nämlich um mechanisch losgerissene Elektrodenteilchen, sogenannte Metalljonen, die sich mit grosser Geschwindigkeit in gerader Richtung progressiv bewegen. Als Beweis stellte er die Kathode aus verschiedenen Metallen, z. B. Platin, Kupfer, Silber, Zink her. Liess er nun längere Zeit einen Induktionsstrom durch die Röhre hindurchgehen, so überzogen sich dabei die Glaswände mit Spiegeln von dem jeweilig angewendeten Metall. — Wurde der Strahlung durch einen Magneten eine bestimmte Richtung und Ausdehnung gewiesen, so entsprach diesen auch vollkommen der Metallniederschlag. — Stellte er plattenförmigen Platinelektroden Glasplatten gegenüber, so erhielt er schöne Platinspiegel.

Mit der Annahme seiner „Strahlenden Elektrodenmaterie", wie Puluj das Wesen der Erscheinung im Gegensatz zu Crookes bezeichnet, gelang es ihm ebenfalls eine Erklärung für alle Experimente Crookes zu geben. Puluj war aber auch bemüht, auf Grund der Phosphorescenzerscheinung und der Wärmeentwicklung praktisch verwendbare Lampen herzustellen. — Die Ausnutzung der Wärmeentwicklung zeitigte von vornherein ein negatives Resultat, denn der als Leuchtkörper dienende Kegel aus Papierkohle, der durch die Bestrahlung bis zur Weissglut erhitzt werden sollte, ergab nur ein ganz schwaches Licht, das nicht einmal kontinuierlich, sondern intermittierend war. Je

Digitized by Google

nach der Entladungsphase des Induktionsstromes schwankte es zwischen Weissglut und Rotglut.

Zu einem immerhin besseren Ergebnis führte die Phosphorescenzerscheinung, wenn auch sie von Anfang an jede Aussicht auf praktische Ausnutzung einer der-

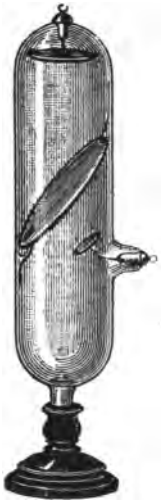


Fig. 68.

artigen Lampe benahm. Die letztere (Fig. 68) bestand aus einer einfachen Glasröhre, die in der Mitte ein schiefgestelltes, mit Schwefelcalcium angestrichenes, elliptisches Glimmerblatt trug. Oberhalb des Glimmerblattes war ein Aluminiumscheibchen von demselben Durchmesser wie der der Röhre angebracht, das als

Digitized by Google

Kathode diente, während die viel kleinere Anode sich unterhalb des Glimmerblattes befand. — Die Phosphorescenz des letzteren ergab wohl soviel Licht, dass es möglich war, in einiger Entfernung von der Röhre noch zu lesen, jedoch wurden die Glaswände auf die Dauer so heiss, dass man, um einer Zerstörung vorzubeugen, bald die Lampe ausschalten musste.

Experimentelle Resultate Hertz' auf diesem Gebiete schienen nun die Auffassungen Crookes' sowohl, wie die Pulujs hinfällig zu machen und der Annahme einer Wellenbewegung im Äther, in Übereinstimmung mit den Vorgängen beim Licht, berechtigte Grundlage zu geben. — So hatte Hertz zunächst festgestellt, dass die sonst überall in der Natur zu beobachtende Umkehrbarkeit der physikalischen Vorgänge hier nicht eintritt. Da eine leichtbewegliche Magnetnadel, in die Nähe der Röhre gebracht, nicht die mindeste Beeinflussung erfährt, so war erwiesen, dass ein Magnet wohl die Kathodenstrahlen, diese aber niemals einen Magneten ablenken. Es konnte dies als Beweis gelten, dass man sich die Strahlen nicht als etwas Materielles zu denken hat, weil dann die Wirkung eine wechselseitige sein müsste. Da dies jedoch nicht der Fall ist, so fand nach der Hertzschen Ansicht durch den Magneten nur eine Beeinflussung des Mediums statt, in dem sich die Kathodenstrahlen fortpflanzen, die ihrerseits wieder auf die Richtung der letzteren einwirkt; wie etwa bei einem Lichtstrahl, der bei einer Pressung des Glases, durch das er hindurchgeht, wohl eine Änderung seiner Richtung

Digitized by Google

erfährt, selbst aber nicht im stande ist, durch eine Ablenkung oder überhaupt eine Pressung des Glases hervorzurufen.

Geradezu unantastbare Beweise für die Richtigkeit seiner Annahme schien ein Experiment zu erbringen, das uns Hertz als letzte Arbeit hinterlassen hat. — In einer Hittorfschen Röhre war ein „Fenster", aus einem dünnen Aluminiumblättchen bestehend, eingefügt, und nun konnte er zeigen, dass die Strahlen durch dieses austreten und sich ausserhalb der Röhre — also in der Luft gewöhnlicher Dichte — ausbreiten, wenngleich allerdings die Luft sehr bald zerstreuend auf sie einwirkte.

Diese Versuche sind nach seinem Tode von seinem derzeitigen Assistenten Lenard — jetzt Professor in Kiel — wiederholt und erweitert worden. Dieser Forscher liess die Strahlen in einen gänzlich luftleeren Raum eintreten, in dem sie niemals erzeugt werden können, und wies auch in diesem ihre Fortpflanzung nach. — Dann untersuchte Lenard, ausser dem bereits erwähnten Aluminium, noch verschiedene andere Substanzen auf ihre Durchlässigkeit hin und konnte feststellen, dass alle Stubstanzen, je nach ihrer Dichtigkeit, mehr oder minder durchlässig für Kathodenstrahlen sind, wenn auch nur in ganz dünnen, zarten Schichten.

Aber auch die Ansicht Hertz' und Lenards über das Wesen der Kathodenstrahlen konnte sich nicht lange behaupten. Denn nachdem neuerdings Röntgen — durch Wiederholung der Lenardschen

Digitized by Google

Versuche — seine epochale Entdeckung machte und den Nachweis erbrachte, dass ausser den Kathodenstrahlen noch eine zweite, bisher unbekannte Strahlenart — von ihm X-Strahlen genannt — besteht, der eigentlich die von Hertz und Lenard beobachtete Durchdringung undurchlässiger Substanzen zuzuschreiben sei, gewann die Auffassung Crookes — allerdings wesentlich modifiziert — doch wieder Oberhand, umsomehr, als man in den Vorgängen der Elektrolyse, d. i. die Zersetzung von Flüssigkeiten durch den elektrischen Strom, ein Analogon gefunden zu haben glaubt.

Diese Erscheinung sollte sich nach einer älteren Hypothese von Grotthus in folgender Weise abspielen: Beispielsweise im gewöhnlichen Wasser sind durch ihre innige Berührung die Sauerstoffatome negativ, die Wasserstoffatome positiv elektrisch; allerdings ist bei der gleichförmigen Verteilung der Teilchen freie Elektricität nicht vorhanden. Geht jedoch Strom durch das Wasser, so wirkt der positive Pol in der Weise auf die zunächst liegenden Wasserteilchen, dass der negative Bestandteil angezogen, also ihm zugewandt wird, während das Wasserstoffatom eine Abstossung erfährt und abgewandt wird. Das Wasserteilchen 1 wirkt aber auf das Wasserteilchen 2 in derselben Weise und dieses wieder auf Teilchen 3, 4 u. s. w. So kommt es denn, dass schliesslich alle Moleküle ihr Sauerstoffatom dem positiven Pol, ihr Wasserstoffatom dem negativen Pol zukehren. Ist nun die Anziehungskraft des positiven Pols gross genug, so wird er das

Digitized by Google

Sauerstoffatom dem Wasserstoffatom des Wasserteilchens 1 entreissen, das letztere wird sich wieder mit dem Sauerstoffatom des Teilchens 2 binden, dessen Wasserstoffatom mit dem Sauerstoffatom des Teilchens 3 und so fort. Es wird eine beständige Zersetzung und Neubildung stattfinden, nur an den Polen selbst werden die Bestandteile frei werden. — In späterer Zeit ist diese Auffassung durch Clausius und Arrhenius jedoch wesentlich modifiziert worden, dahingehend, dass beim Gleichgewicht des Elektrolyten, auch wenn kein Strom durch ihn geht, ein Teil der elektrolytischen Molekeln in die geladenen Jonen, sogenannte freie Jonen, gespalten ist. Da in jedem Raumteil des Elektrolyten ebenso viele Kationen, wie Anionen[1]) sich befinden, und die positive Ladung eines Kations der negativen eines Anions dem absoluten Werte nach gleich ist, so erscheint trotz dieser Ladungen der Elektrolyt eben unelektrisch. Geht nun der Strom durch den Elektrolyten, so bringt die von der Anode gegen die Kathode hin gerichtete elektrische Kraft eine Bewegung der freien Jonen hervor, sie treibt nämlich die positiv geladenen Kationen gegen die Kathode, die negativ geladenen Anionen gegen die Anode hin. Da nun zu jedem Konzentrationsgrad ein bestimmtes Dissoziationsverhältnis gehört, so findet, um das letztere zu erhalten, dauernd eine diesem entsprechende Zerreissung der Moleküle während des Stromdurchganges statt.

[1]) Das Anion ist dasjenige Jon, das sich zur Anode, das Kation, das sich zur Kathode hin bewegt.

Digitized by Google

Im vorliegenden Falle nun bildet das Gasvolumen der Röhren eine Art Elektrolyten; jedenfalls verhält es sich dem elektrischen Strom gegenüber vollkommen identisch einem solchen. — Auch hier findet eine Bewegung der freien Jonen oder Elektronen — so bezeichnet ein von Stoney gewählter, allgemein gebräuchlicher Name das elektrische Elementarquantum — nach verschiedenen Richtungen hin statt, jedoch derart, dass die Geschwindigkeit der negativ geladenen Elektronen bei weitem grösser ist, wie die der positiv geladenen Elektronen; denn wenn auch beide bezüglich ihrer elektrischen Ladung vollkommen gleichwertig sind, so übertrifft das positive Elektron das negative Teilchen räumlich um ein tausendfaches, folgedessen ist es auch in seiner Bewegungsfähigkeit sehr behindert und muss im wesentlichen den negativen Teilchen den Ausbreitungsraum, das Röhreninnere, überlassen. Aus dieser Verschiedenheit in der Bewegung ergiebt sich denn auch das Abweichende in der Beobachtungsweise und in dem Verhalten beider Teilchen.[1]) — Diese Auffassung, der zuerst W. Giese 1882 durch Untersuchung der Leitung in Flammengasen eine bedeutende Stütze verlieh und

[1]) Über die Geschwindigkeit u, die Masse m und die elektrische Ladung ε der Teilchen lassen sich nach Kohlrausch (Prakt. Physik) aus der Ablenkung im Magnetfelde einerseits und einer der übrigen nachfolgenden Messungen andererseits Schlüsse ziehen, deren rechnerische Daten durch ein einheitliches C. G. S.-System festzustellen sind.

Die durch ein transversales magnetisches Feld H senkrecht zur Feld- und Bewegungsrichtung ausgeübte el.-magn. Kraft ist $H \cdot u\varepsilon$.

Digitized by Google

die eine Reihe theoretischer Betrachtungen[1]) zeitigte, ist in letzter Zeit fast von allen beteiligten Kreisen als massgebend anerkannt worden, da ihr sämtliche bisher gemachten Beobachtungen zur Stütze geworden sind.

Hieraus entsteht eine kreisförmige Bahn von solchem Krümmungsradius r, dass die Centrifugalkraft $m u^2/r = H u \varepsilon$ ist. Daraus folgt

$$\frac{m u}{\varepsilon} = r H \tag{1}$$

Ein senkrecht zur ursprünglichen Bewegungsrichtung stehendes elektrisches Feld F lenkt in der Zeit t aus dieser Richtung senkrecht ab um $y = \frac{1}{2} t^2 . F \varepsilon/m$. Da ohne die Ablenkung das Teilchen gradlinig um $x = ut$ vorgeschritten wäre, so stellt $y = \frac{1}{2} F \frac{\varepsilon}{m u^2} x^2$ die Gleichung der parabolischen Bahnkurve in den rechtwinkligen Koordinaten x und y dar. Sind x und y gemessen, so ist also

$$\frac{m u^2}{\varepsilon} = \frac{1}{2} F \frac{x^2}{y} \tag{2}$$

Allerdings lässt sich häufig die Feldstärke nicht ohne weiteres aus der geometrischen Anordnung berechnen, da das Gas dadurch, dass eine Entladung hindurchgeht, selbst ein beträchtliches Leitvermögen erhält. Nur in sehr grosser Verdünnung oder bei Wechselfeldern kann die Rechnung zutreffen.

Beträgt der Potentialabfall zwischen Kathode und Beobachtungspunkt $V_1 - V_0$ (grösstenteils in der Nähe der Kathode) so wird $\frac{1}{2} m u^2 = (V_1 - V_0) \varepsilon$, folglich

$$\frac{m u^2}{\varepsilon} = 2 (V_1 - V_0) \tag{3}$$

Durch die sich in Wärme umsetzende Bew.-Energie $\frac{1}{2} m u^2$ entsteht die Wärmemenge $\frac{1}{2} m u^2/A$, wenn A das mech.

[1]) Zur näheren Kenntnisnahme sei auf die Arbeiten von Aschkinass, Cady, Capstick, Des Coudres, Ebert, Gehrke, Goldstein, Graham, Herz, Hense, Jaumann, Kaufmann, Lenard, Perrin, Riecke, A. Schuster, Simon, Starke, Strutt, J. J. Thomson, Warburg, Wiechart, E. Wiedemann, W. Wien, Wood hingewiesen.

Digitized by Google

Röntgen-Strahlen.

Wie bereits erwähnt, sollten die Lenardschen Experimente zum Grundstein der Röntgenschen Entdeckung werden. Lenards Arbeiten waren aber wiederum nur eine Fortsetzung Hertzscher Studien, so dass auch hier der Name Hertz in erster Reihe genannt werden muss.

Röntgen,[1]) Professor an der Universität zu Würzburg, hatte über eine Lenardsche Röhre eine Umhüllung aus

---

Wärmeäquivalent ist. Die Anzahl der in der Zeiteinheit von dem Wärmemesser (z. B. der Thermosäule) aufgenommenen Teilchen sei n, d. h. auf den entsprechenden Teil Strom bezogen $i = n\,\varepsilon/t$, so dass $n = i\,t/\varepsilon$ gefunden wird. Folglich beträgt die in der Zeit t entwickelte Wärmemenge $Q = \frac{1}{2}\,n\,m\,u^2/A = \frac{1}{2}\,i\,t\,m\,u^2/(A\,\varepsilon)$, also

$$\frac{m\,u^2}{\varepsilon} = 2\,A\,\frac{Q}{i\,t} \tag{4}$$

Vorausgesetzt ist dabei jedoch, dass von dem erfahrungsgemäss reflektierten Teile der Kathodenstrahlen, keine Energie an das reflektierende Calorimeter abgegeben wird.

Mit Hilfe dieser Gleichungen lässt sich sowohl u wie m/ε einzeln berechnen. Dann ist nach (1) z. B. $m\,u/\varepsilon = a$ und nach (2) bis (4) $m\,u^2/\varepsilon = b$, dann ergiebt sich

$$u = \frac{b}{a} \text{ und } \frac{m}{\varepsilon} = \frac{a^2}{b} \tag{5}$$

Zu Messungen ist der intermittierende Strom eines Induktoriums wenig geeignet. Konstante, durch eingeschaltetes Telephon auf Gleichmässigkeit zu prüfende Ströme liefert eine Hochspannungsakkumulatorenbatterie, oder bei kleiner Stromstärke eine Influenzmaschine.

[1]) Röntgen, Konrad Wilh., geb. am 27. März 1845 zu Lennep, 1874 in Strassburg habilitiert, bekleidet seit 1880 eine ordentliche Professur an der Universität zu Würzburg.

Digitized by Google

undurchlässigem, schwarzem Karton gestülpt und bemerkte, wenn er durch die Röhre den Strom eines Induktoriums gehen liess, dass ein zufällig in der Nähe liegender, mit Bariumplatincyanür angestrichener Papierschirm, wie solcher zum Nachweis der Fluorescenz gebraucht wird, ohne ersichtliche Ursache, den Entladungen entsprechend, aufleuchtete. Er stellte sofort fest, dass es ganz egal sei, ob die angestrichene Seite des Schirmes oben oder unten lag, die Wirkung war jedesmal die gleiche, und zwar war sie bis auf eine Entfernung von etwa 2 Metern wahrnehmbar.

Da sich solcher Weise die sonst für Lichtstrahlen vollkommen undurchlässige Papphülse, ebenso auch die pappene Rückwand des Fluorescenzschirmes durchdringlich zeigte, untersuchte Röntgen auch andere Körper auf diese Eigenschaft hin und fand bald, dass sie alle durchlässig sind, wenn auch in verschiedenen Graden, aber durchaus nicht wie Lenard es bei den Kathodenstrahlen beobachtete, nur in ganz dünnen Schichten. So sah Röntgen hinter einem eingebundenen Buch von ca. tausend Seiten den Schirm noch deutlich leuchten, auch ein doppeltes Whistspiel hatte dasselbe Resultat. 2 bis 3 Centimeter dicke Bretter aus Tannenholz störten die Wirkung nur wenig, ebenso centimeterstarke Hartgummischeiben.

Metalle dagegen erwiesen sich als viel undurchlässiger. Eine 15 Millimeter dicke Aluminiumschicht schwächte die Wirkung recht beträchtlich, wenn sie auch nicht im stande war, sie ganz aufzuheben; Blei

Digitized by Google

jedoch in gleicher Stärke erwies sich als fast undurchlässig. Ein eigentümliches Bild ergab sich, wenn man die Hand zwischen die Röhre und den Schirm brachte. Die dunkleren Schatten der Handknochen (Fig. 69) traten stark in dem in ganz leichten Umrissen erkennbaren Schattenbild der Weichteile hervor.

Durch diese Versuchsergebnisse kam Röntgen zu der Folgerung, dass die Durchlässigkeit der verschiedenen Substanzen, gleiche Schichtendicke vorausgesetzt, wesentlich bedingt ist durch ihre Dichte, dass aber alle Körper mit zunehmender Dicke weniger durchlässig werden.

Des weiteren ergab sich, dass die Fluorescenzerscheinung sich durchaus nicht auf das Bariumplatincyanür beschränkt, sondern dass ihr auch andere Substanzen, so die als Phosphore bekannten Calciumverbindungen, ferner Uranglas, gewöhnliches Glas, Kalkspath, Steinsalz u. s. w. unterworfen sind. Die wichtigste Eigenschaft jedoch, die Röntgen an den neuen Strahlen — denn dass es sich wirklich um bisher unbekannte handeln musste, war ihm bei der Verschiedenheit der Erscheinungen andern Strahlenarten gegenüber sofort klar — entdeckte, war, dass sie auf die photographische Platte die Wirkung einer direkten Belichtung hatten. Er machte sich diese Erscheinung schon bei seinen weiteren Forschungen zu nutze, indem er jede Beobachtung, die er mit blossem Auge auf dem Fluorescenzschirm wahrzunehmen glaubte, photographisch fixierte, um Täuschungen zu vermeiden und zugleich eine jederzeit zugängliche Kontrolle zu haben.

Digitized by Google

Wesentlich zu statten kam ihm dabei der Umstand, dass die Aufnahme im beleuchteten Zimmer durch die Papierumhüllung oder die geschlossene Kassette hindurch vorgenommen werden konnte.

Nach einer späteren Mitteilung kam Röntgen unter anderem noch zur Kenntnis der weiteren, merkwürdigen Thatsache, dass die Strahlen die sie umgebende Luft, ebenso auch andere, in ihrer Nähe eingeschlossene Gase leitend machen; denn positiv oder negativ geladene Körper in geringer Entfernung von der Röhre wurden entladen und zwar desto rascher, je intensiver die Strahlen waren, eine Messung, die sich mittelst des Fluorescenzschirms leicht vornehmen liess.

Nachdem Röntgen so die wichtigsten Eigenschaften der von ihm nach der mathematischen Bezeichnung der Unbekannten X genannten Strahlenart festgestellt hatte, erweiterte er seine Versuche, um das Wesen der Erscheinung zu ergründen. Zunächst bemühte er sich, ausfindig zu machen, an welcher Stelle der Röhre die X-Strahlen zur Erzeugung gelangen und er kam zu dem Resultat, dass die Stelle der Wand, die am stärksten fluoresciert, also dort wo die Kathodenstrahlen auftreffen, als Hauptausgang der sich nach allen Richtungen hin ausbreitenden X-Strahlen anzusehen sei. Ob diese Stelle aus Glas war oder ob sie von metallischen Flächen gebildet wurde, erwies sich dabei als gleichgültig. Allerdings war die Strahlung im letzteren Fall intensiver, und zwar übertraf namentlich Platin alle andern Stoffe an Wirkung.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 69.

Digitized by Google

Des weiteren suchte er in Erfahrung zu bringen, ob die Strahlen bei ihrem Durchgang durch ein Prisma eine Ablenkung erfahren. Aber trotz der Anwendung von Substanzen verschiedener Dichte, wie Hartgummi, Aluminium, Wasser- und Kohlenstoff in Glimmer war das Ergebnis ein negatives. Zur Kontrolle wiederholte Röntgen die Versuche noch mit einem andern Mittel, das beim Licht als wirksam erprobt war. Fein pulverisierte Körper nämlich lassen bei genügender Schichtendicke das auffallende Licht nur wenig und zerstreut hindurch, da die Brechung und Reflexion in ihnen durch die Häufigkeit ihres Auftretens eine sehr grosse ist. Aber weder das zur Verwendung kommende Steinsalz noch das Silberpulver hatten auf die X-Strahlen irgend welche Wirkung. Ebenso gelang auch eine Konzentration der Strahlen durch Anwendung einer Sammellinse nicht. Der für die Hittorfschen Kathodenstrahlen so charakteristische Versuch der Ablenkung mittelst Magneten schlug ebenfalls fehl.

Aus allen diesen Versuchen kam Röntgen zu der Annahme, dass die X-Strahlen nicht einfach unverändert von der Glaswand hindurchgelassene resp. reflektierte Kathodenstrahlen seien, dass es sich wiederum aber auch nicht um gewöhnliche ultraviolette Lichtstrahlen handele, wie vielleicht die Fluorescenz, die chemische Wirkung und die Entladung des Elektroskops, die sich ebenfalls mit ultraviolettem Licht erzielen lässt, glauben machen könne, da sich weder Brechung noch Reflexion, noch Polarisation nachweisen lasse. Röntgen giebt

Digitized by Google

seiner Ansicht vielmehr mit folgenden Worten Ausdruck:

„Nun weiss man schon seit langer Zeit, dass ausser den transversalen Lichtschwingungen auch longitudinale Schwingungen im Äther vorkommen können und nach Ansicht verschiedener Physiker vorkommen müssen. Freilich ist ihre Existenz nicht evident nachgewiesen, und sind deshalb ihre Eigenschaften noch nicht experimentell untersucht.

Sollten nun die neuen Strahlen nicht longitudinalen Schwingungen im Äther zuzuschreiben sein?

Ich muss bekennen, dass ich mich im Laufe der Untersuchung immermehr mit diesem Gedanken vertraut gemacht habe und gestatte mir denn auch diese Vermutung hier auszusprechen, wiewohl ich mir sehr bewusst bin, dass die gegebene Erklärung einer weiteren Begründung noch bedarf.“ [1])

Die Röntgenschen Veröffentlichungen riefen allerorts das grösste Aufsehen hervor. — In Gelehrtenkreisen griff man namentlich die letzte, sich auf das Wesen der neuen Strahlen, die zu Ehren ihres Entdeckers den Namen „Röntgenstrahlen“ erhielten, beziehende Frage auf und bemühte sich durch Erweiterung der Beobachtungen ihrer Lösung auf den Grund zu kommen. Wie sich aber bald erwies, hatte Röntgen bereits von vornherein das massgebendste festgestellt, sodass man im wesentlichen auf den theoretischen Weg angewiesen war.

[1]) Röntgen, Eine neue Art von Strahlen, 1. und 2. Mitteilung, Würzburg 1896.

Digitized by Google

Aus der Reihe der Hypothesen, die nach und nach auftauchten, waren es namentlich drei, die in den Kreis einer Betrachtung gezogen zu werden verdienten; zunächst die folgende, von Prof. Boltzmann, Wien, aufgestellte:

Durch den Anprall der von der Kathode kommenden Jonen werden in den betreffenden Glas- oder Metallwänden Oscillationen erregt, die sich im Äther strahlenförmig fortpflanzen. Die Wellenlänge dieser Strahlen übertrifft jedoch an Kleinheit die der bekannten ultravioletten Lichtstrahlen so sehr, dass ihnen die Poren, die ja jeder Körper aufweist, genügen, ihren Weg ungehindert durch diesen hindurch fortzusetzen, wie etwa die Maschen eines Netzes den Lichtstrahlen! Je dichter allerdings die Masse des betreffenden Körpers, um so weniger Strahlen werden naturgemäss hindurchgelassen werden, wenngleich dabei ihre Geschwindigkeit in keiner Weise beeinflusst wird. So kommt es, dass die Strahlen beim Übertritt aus dünneren Medien in dichtere keine Brechung erleiden. Ihre Natur als Lichtstrahlung macht auch die Unempfindlichkeit gegen magnetische Beeinflussung erklärlich, während die Fähigkeit, Entladungen herbeizuführen — wie bereits erwähnt — auch dem ultravioletten Licht eigen ist.

Nach der zweiten, von Dr. B. Walter, Hamburg, herrührenden Anschauung, handelt es sich um Teilchen, die durch die Gewalt der Entladung von den Auftreffpunkten losgerissen worden sind, jedoch keinerlei elektrische Ladung aufweisen.

Digitized by Google

Die dritte Hyopthese stammt von J. J. Thomson, Cambridge, und äussert sich dahin, dass durch den Anprall der Kathodenstrahlen unperiodische Druckbewegungen im Äther hervorgerufen werden, die sich ruckweise fortpflanzen, im Gegensatz zum Licht, das eine periodische Ätherbewegung ist. Diese Auffassung hat am meisten Wahrscheinlichkeit für sich; sie wird deshalb auch fast allgemein als massgebend angenommen.

Bequerel-Strahlen.

Die Forschung nach dem Wesen der Röntgenstrahlen sollte nun selbst wieder zur Entdeckung einer höchst merkwürdigen Erscheinung führen. Bequerel [1]), ein bedeutender französischer Forscher, war der Ansicht, dass es sich um durch Fluorescenz veranlasste ultraviolette Strahlen handele und versuchte unter Umgehung irgend welcher elektrischer Entladungen, einzig und allein durch Anwendung fluorescierender Substanzen, die gleichen Wirkungen zu erzielen. Er machte seine Beobachtungen mit Uransalzen, die praktisch zur Herstellung des nach ihm benannten fluorescierenden Uranglases dienen. Er setzte die Salze mehrere Tage stark dem Licht aus und brachte sie dann ins dunkle Zimmer, wo er sie auf einer umhüllten, photographischen Platte ausbreitete. Nach einiger Zeit wurde die Platte entwickelt und thatsächlich erwies

[1]) Alex. Edmon de Bequerel, geb. 1820 in Paris, ist Professor daselbst.

Digitized by Google

sich die Stelle, die der Lage des Salzes entsprach, als belichtet. Natürlich setzte Bequerel seine Versuche fort, zunächst um festzustellen, welchen Einfluss eine längere oder kürzere Exponierung des Urans am Tageslicht auf die belichtende Wirkung ausübt. Dabei kam er bald dahinter, dass die Exponierung überhaupt ganz fortfallen könne, dass die in Frage kommende Eigenschaft andauernd ist und auch im Laufe der Zeit keine Abnahme erleidet. — Im übrigen zeigte auch das weitere Verhalten der Substanz grosse Ähnlichkeit mit den Röntgenstrahlen, so gelang es durch sie den Bariumplatincyanürschirm zum Aufleuchten zu bringen, Entladungen herbeizuführen u. s. f.

Zwei Jahre später, 1898, konnte G. C. Schmidt zeigen, dass auch Thoriumverbindungen ähnliche Strahlen aussenden. Die wesentlichste Erweiterung erfuhren aber die Bequerelschen Untersuchungen durch besonders glückliche Arbeiten eines französischen Forscher-Ehepaares, P. und S. Curie in Paris. Man war nämlich mit der Zeit hinter die merkwürdige Thatsache gekommen, dass die Pechblende, ein in Böhmen vorkommendes Erz, aus dem das Uran gewonnen wird, sich weit stärker aktiv wie das Uran selbst erwies. Herr und Frau Curie gelang es festzustellen, dass sich die Hauptwirksamkeit der Pechblende auf die Rückstände der Urandarstellung beschränkt, und dieses Ergebnis wieder führte zu der weiteren Entdeckung, dass die eigentümliche Eigenschaft in gewissen Beimengungen zu suchen sei, aus denen sich zwei besonders radioaktive (d. h.

Digitized by Google

wirksame) Substanzen isolieren lassen. Die eine Substanz ist an Wismut gebunden, während die andere in Gesellschaft mit Baryum auftritt, und zwar glückte es durch ein äusserst mühseliges Fraktionierungsverfahren, bei dem mehrere Centner Erz bis auf wenige Gramm verarbeitet wurden, zwei bisher unbekannte Elemente zu gewinnen, das Radium und das Polonium. Das letztgenannte Element ist das weniger wirksame, das Radium aber, das erst im Verlaufe einiger Wochen seine volle Radioaktivität erhält, übertrifft das Uran um das 50,000 fache, so dass seine Strahlen ein bis zwei Centimeter dicke Metallplatten zu durchdringen vermögen.

Neuere Forschungen haben nun ergeben, dass die nach ihrem Entdecker genannten Bequerelstrahlen viel mehr Ähnlichkeit mit den Kathodenstrahlen aufweisen als mit den Röntgenstrahlen, denen man sie früher nahe verwandt hielt. So wies F. Giesel, ein hervorragender Forscher auf diesem Gebiet, nach, dass sie magnetisch ablenkbar seien, und Dorn und Bequerel konnten ihre elektrische Ablenkbarkeit feststellen. Auch aus ihrer Geschwindigkeit und Ladung pro Masseneinheit ergab sich die völlige Übereinstimmung mit den Kathodenstrahlen.

Es ist zweifellos eine merkwürdige Körperklasse, die im stande ist, von selbst, ohne äussere Einwirkung, Elektronen auszuschleudern, dadurch aber, dass die Physik in ihr den Schlussstein sieht für eine Hypothese,

Digitized by Google

die unsere Anschauungen auf physikalischem wie auf chemischem Gebiet von Grund aus erschüttert, erhält sie eine Bedeutung, die in der Geschichte der Naturlehre ohne Beispiel ist. Die Kühnheit Crookes' ist nämlich vorbildlich geworden und hat den Mut gegeben, ehedem kaum in Gedanken zu erwägenden Schlüssen offenkundig Ausdruck zu geben. So endet W. Kaufmann, Göttingen, einen Vortrag über die Entwicklung des Elektronenbegriffes [1]) nach einer Betrachtung der Bequerelstrahlen mit folgenden Worten:

„Wir stehen bezüglich der Energiequelle sowie des ganzen Mechanismus dieser Erscheinung noch vor einem völligen Rätsel, zumal es sich hier um Geschwindigkeiten zu handeln scheint, die fast gleich der Lichtgeschwindigkeit sind, Geschwindigkeiten, die wir durch elektrische Kräfte, d. h. bei wirklichen Kathodenstrahlen sicher nur nach Überwindung der enormsten Schwierigkeiten erreichen können. Gerade das Verhalten der Elektronen bei solch ungeheuren Geschwindigkeiten scheint aber geeignet, über die tiefgehendsten Fragen nach der Konstitution der Elektronen Aufschluss zu geben. Vor allen Dingen lässt sich durch direkte Messung entscheiden, ob die Masse der Elektronen vielleicht nur eine »scheinbare«, durch elektrodynamische Wirkungen vorgetäuschte ist. Die bislang angestellten Versuche sprechen thatsächlich für die Annahme einer »scheinbaren« Masse.

[1]) Gehalten auf der 73. Naturforscherversammlung zu Hamburg 1901.

Digitized by Google

Und hiermit kommen wir zu einer Frage, die tief hineingreift in den Bau der Materie überhaupt:

Wenn ein elektrisches Atom blos vermöge seiner elektrodynamischen Eigenschaften sich genau so verhält, wie ein träges Massenteilchen, ist es dann nicht möglich, überhaupt alle Massen als nur scheinbare zu betrachten? Können wir nicht statt all der unfruchtbar gebliebenen Versuche, die elektrischen Erscheinungen mechanisch zu erklären, nun umgekehrt versuchen, die Mechanik auf elektrische Vorgänge zurückzuführen? Wir kommen hier wieder auf Anschauungen zurück, die schon von Zöllner vor 30 Jahren kultiviert wurden und neuerdings von H. A. Lorenz, J. J. Thomson und W. Wien wieder aufgenommen und verbessert worden sind: Wenn alle materiellen Atome aus einem Konglomerat von Elektronen bestehen, dann ergiebt sich ihre Trägheit ganz von selbst.

Zur Erklärung der Gravitation muss noch angenommen werden, dass die Anziehung zwischen ungleichartigen Ladungen etwas grösser sei, als die Abstossung zwischen gleichartigen. Ein experimentum crucis für diese Anschauung wäre der Nachweis einer zeitlichen Fortpflanzung der Gravitation resp. ihrer Abhängigkeit nicht blos von der Lage, sondern auch von der Geschwindigkeit der gravitierenden Körper.

Die Elektronen wären dann also die von so manchem gesuchten »Uratome«, durch deren verschiedenartige Gruppierung die chemischen Elemente

Digitized by Google

gebildet werden; der alte Alchimistentraum von der Umwandlung der Elemente wäre dann der Wirklichkeit bedeutend näher gerückt. Man könnte annehmen, dass unter den unzähligen möglichen Gruppierungen der Elektronen nur eine relativ beschränkte Anzahl genügend stabil ist, um in grösseren Mengen vorzukommen. Diese stabilen Gruppierungen wären dann die uns bekannten chemischen Elemente. Durch eine mathematische Behandlung dieser Fragen wird es vielleicht einmal gelingen, die relative Häufigkeit der Elemente als Funktion ihres Atomgewichtes darzustellen und vielleicht auch noch manches andere Rätsel des periodischen Systems der Elemente zu lösen.

Werfen wir noch einen Blick von der Erde fort in den Weltenraum hinaus, so sehen wir auch dort manche Erscheinung, auf die man nicht ohne Aussicht auf Erfolg versucht hat, die Elektronentheorie anzuwenden; die Sonnenkorona, die Kometenschweife und die Nordlichter gehören hierher.

Mag auch noch manches hierbei etwas zu hypothetisch erscheinen, so dürfte wohl aus dem Gesagten klar hervorgehen, dass die Elektronen, diese winzigen Teilchen, deren Grösse sich zu der eines Bazillus etwa verhält, wie diejenige eines Bazillus zur gesamten Erdkugel, und deren Eigenschaften wir doch mit grösster Präcision zu messen vermögen, dass diese Elektronen eine der wichtigsten Grundlagen unseres gesamten Weltgebäudes bilden."

Digitized by Google

Nach diesen Ausführungen, die keineswegs nur der individuellen Ansicht des Vortragenden entsprechen, sondern ganz im allgemeinen den Standpunkt der modernen Physik[1]) kennzeichnen, handelt es sich also um nichts weniger, als um ein Zurückführen der Gravitation, deren Erforschung man lange Zeit über das herrliche Newtonsche Gesetz ausser Acht gelassen hat, auf elektromagnetische, durch Elektronen veranlasste Vorgänge, dann aber um die Rückkehr auf den Standpunkt der Alchimisten: allen Körpern im Weltenraum liegt ein und derselbe Urstoff zu Grunde. Sollte doch die Reduzierung auf diesen es ermöglichen, ein minderwertiges Metall durch die später vorzunehmende Neubildung in ein edleres zu überführen.

[1]) Allerdings bekennt sich Frau Sklodowska-Curie nicht zu dieser Auffassung. Sie macht einen eigenen Versuch zur Erklärung der Radiumstrahlung, der, nicht minder hypothetischer Natur, doch durch die hohe Bedeutung und die bahnbrechenden Forschungen dieser Gelehrten einer näheren Betrachtung wert ist. Nach Frau Curie erfolgt die Strahlung auf Kosten der Wärme des umgebenden Mediums. Im allgemeinen und nach unseren bisherigen Beobachtungen bedarf es zwar bei der Überführung von Wärme in Arbeit immer eines Temperaturunterschiedes, Maxwell und Helmholtz jedoch haben die Bedingung des Temperaturgefälles nicht als unbedingt erforderlich hingestellt und zwar unter Heranziehung der kinetischen Gastheorie. Maxwell führt aus, dass sich wohl bei einer bestimmten Temperatur eine durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit der Molekel herausfinden und berechnen lasse — eine Aufgabe, die er auf mathematischem Wege in glänzender Weise löste —, die einzelnen Molekel würden jedoch durch die Zusammenstösse in ihrer Geschwindigkeit ungleich beeinflusst. Könnte man es nun in einem Raume, etwa durch eine Scheidewand mit einem winzigen Löchelchen,

Digitized by Google

Inwieweit diese weitgehende Fassung der Elektronenhypothese der Wirklichkeit entspricht, das klarzustellen, kann nur unwiderleglichen, experimentellen Ergebnissen der Zukunft überlassen bleiben. Aber selbst van't Hoff, der grosse Chemiker der Berliner Universität, giebt zu bedenken, dass die bisher erzeugbaren Wärmegrade, die den Menschen zur Zerlegung der Körper zu Gebote stehen, ja nur verschwindend kleine seien gegenüber denen, die im Weltall mitsprechen, dass es unbekannt sei, welche Wirkungen sich durch doppelte, dreifache oder vielfache Temperaturerhöhungen erzielen lassen.

Jedenfalls haben wir hier wohl das interessanteste Gebiet moderner Forschung vor uns, auf dessen Weiterentwickelung man im höchsten Maasse gespannt sein kann.

Die Entwicklung der Röntgenstrahlentechnik.

Mit der epochalen Entdeckung und Erforschung der nach ihm benannten Strahlenart hatte Röntgen der

---

zu einer selbstthätigen Scheidung der gerade schneller sich bewegenden Molekel von den langsameren kommen lassen, so erhielte man ohne Verausgabung von Arbeit eine wärmere und eine kältere Hälfte. — Auch Helmholtz sah sich in seinen „Studien zur Thermodynamik" für die Erklärung gewisser protoplasmatischer Bewegungen genötigt, den Begriff eines molekularen Mechanismus heranzuziehen, der unter gewissen Umständen die Moleküle aus dem Chaos der ungeordneten Wärmebewegung in bestimmte geordnete Bahnen einzutreten zwingt. In ähnlicher Weise stellt sich auch Frau Sklodowska-Curie den Vorgang bei der Radiumstrahlung vor.

Digitized by Google

Wissenschaft ein Geschenk von seltenem Wert gemacht. Aber schon die ersten Veröffentlichungen liessen erkennen, dass den alles durchdringenden Strahlen auch eine immense praktische Bedeutung innewohne. So war namentlich der Medizin in ihnen ein mächtiger Bundesgenosse erstanden, der das Innere des Menschen auch ohne operativen Eingriff erschloss, gegebenenfalls aber dem sonst häufig auf gut Glück arbeitenden Messer des Chirurgen nunmehr von vornherein den sicheren Weg wies. Die Medizin zögerte denn auch nicht lange, die Entdeckung Röntgens in ihre Dienste zu nehmen, und Krankenhäuser und ähnliche Institute fingen an, sich eigene Laboratorien zur Herstellung und Anwendung von Röntgenstrahlen einzurichten.

Damit aber musste notwendigerweise eine Vervollkommnung der erforderlichen Erzeugungs- und Hilfsapparate Hand in Hand gehen. Denn diese trugen im Anfang durchgehends den ausgesprochenen Charakter von Laboratoriumsinstrumenten; sie zeigten sich wohl mit Mühe und Not den Händen des geschickten Experimentators gefügig, aber an einen Dauerbetrieb mit ihnen, noch dazu seitens des Nichtphysikers, war nicht zu denken. Hierin also galt es Wandel zu schaffen, und die Aufgabe, die damit an die Elektrotechnik herantrat, war keine kleine. Aber diese Industrie hatte in den Jahren rapiden Aufblühens eine gute Schule durchgemacht, unverzagt machte sie sich an die Arbeit und konnte nach verhältnismässig kurzer Zeit auf bedeutende Erfolge zurückblicken. Namentlich Deutschland, das

Digitized by Google

die Ehrenpflicht zu haben glaubte, der Sache seines grossen Sohnes auch nach der praktischen Seite hin zum Siege verhelfen zu müssen, entwickelte eine Thätigkeit, die ihm die Führerschaft vor allen Ländern der Erde eintrug.

Wenn wir uns die Fortschritte im einzelnen ansehen, so finden wir, dass sich die Hauptarbeit auf die Mittel konzentrierte, die der Erzeugung hochgespannten Stromes dienen, und auf die Röhren, in denen die Strahlen entstehen. Aber auch die Nebenapparate und Hilfsmittel erfuhren mancherlei Vermehrung und Verbesserung.

Zur Gewinnung hochgespannter Ströme kamen von vornherein nur zwei Instrumente in Betracht, die Influenzmaschine und der Funkeninduktor. Auf die Influenzmaschine hatte man anfangs grosse Hoffnungen gesetzt, da ihr Preis an sich ein wesentlich niedrigerer wie der des Induktoriums ist, und sie zu ihrem Betriebe weder einer besonderen Stromquelle, noch irgend eines Hilfsapparates, wie Unterbrecher u. s. w. bedarf. Aber sie hat die gehegten Erwartungen nicht erfüllt. Die Fehler, die ihr anhafteten, ungemein grosse Empfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen und Feuchtigkeit, plötzlicher unbeabsichtigter Polwechsel haben sich trotz grösster Mühe nicht beseitigen lassen, so dass ein anhaltender, wirklich präziser Betrieb mit der Influenzmaschine nicht zu erreichen ist. Nur für gelegentliche Experimente dürfte sie genügen.

Digitized by Google

Der fast ausschliesslich zur Anwendung kommende Apparat ist der Funkeninduktor. Man baut ihn, weitgehendsten Ansprüchen Rechnung tragend, neuerdings bis zu 1 Meter Schlagweite, am meisten verlangt werden jedoch die Typen von 20—30 Centimeter Funkenlänge. Gegenüber seiner ursprünglichen Konstruktion ist er wesentlich vervollkommnet worden, sowohl hinsichtlich seines Energieverbrauchs, als auch in seiner mechanischen Durchbildung, wobei namentlich auf die Güte der Isolation ein Hauptgewicht gelegt worden ist. Bei Apparaten von 20 Centimeter Schlagweite an werden die sekundären Spulen fast ausschliesslich aus einzelnen Sektionen, die durch Isolierscheiben voneinander getrennt sind, zusammengesetzt, deren jede der Breite nach immer nur wenige Lagen, häufig sogar nur eine einzige, des dünnen Drahtes enthält. Die Wicklung selbst besteht je nach der Grösse der Type aus 0,1—0,2 Millimeter starkem, mit Seide umsponnenem Kupferdraht und enthält ca. 10000—100000 Windungen. Die fertig gewickelte Spule ist im Vakuum in einer Isolationsmasse, bestehend aus Wachs, Kolophonium und venetianischem Terpentin, gekocht. Darauf ist sie zum Schutze gegen die Primärspule mit einem einfachen oder doppelten Hartgummirohr umgeben.

Die primäre Spule weist 4—6 Lagen dicken Drahtes auf. Da die induzierende Wirkung des Schliessungs- und Oeffnungsstromes auch in der Primärspule in Erscheinung tritt und einen sogenannten Extrastrom erzeugt, der die Leistungsfähigkeit des Apparates herab-

Digitized by Google

setzt, so wird parallel zur Unterbrechungsstelle des Hauptstromes ein Fizeauscher Kondensator geschaltet, der die störende Selbstinduktion aufhebt. Der Fizeausche Kondensator besteht aus aufeinandergelegten Papier-, Wachstaffet- und Glimmerblättern, deren jedes auf beiden Seiten mit Stanniol beklebt ist, jedoch in der Weise, dass der obere Belag die Unterlage nach der einen, der untere die Unterlage nach der anderen Seite überragt. Die überstehenden Stanniolenden sind dann untereinander verbunden. Die ganze Einrichtung ist im Holzsockel des Induktors untergebracht.

Bei den neuesten Induktorkonstruktionen ist jedoch die Einrichtung so getroffen, dass je nach den verwendeten Unterbrechern die Selbstinduktion auch ohne entsprechende Schaltung des Kondensators beliebig verändert werden kann. Die einzelnen Drahtlagen der Primärspule lassen sich nämlich durch eine Umschaltvorrichtung entweder hintereinander schalten, wodurch eine hohe Selbstinduktion, wie sie für die weiter unten beschriebenen Elektrolytunterbrecher erforderlich ist, erreicht wird, oder — zur Erzielung des Gegenteils — parallel schalten und zwar sowohl in Gruppen von zwei zu zwei Lagen als auch alle Lagen zusammen. Diese Umschaltvorrichtung hat auch des weiteren noch den Vorteil, dass sich die Leistung des Induktors dem jeweiligen Härtegrad der Röhre anpassen lässt, und dass der schädliche Schliessungsinduktionsstrom beschränkt wird.

Für das Innere der Primärspule wählt man, statt eines massiven Eisenkernes, ein Bündel weichen, ge-

Digitized by Google

glühten Eisendrahtes, da die dünnen Drähte den Magnetismus viel schneller annehmen und verlieren und deshalb kräftigere Induktionswirkungen hervorrufen. Auch dünne Dynamobleche, durch Papierlagen von einander isoliert, kommen mit Erfolg zur Anwendung.

Zugleich mit der Vervollkommnung des Induktors wurde auch der für die Leistungsfähigkeit dieses Apparates so wichtige Unterbrecher verbessert, zum

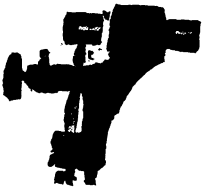


Fig. 70.

Teil sogar nach andern Prinzipien vollkommen neue Konstruktionen geschaffen, wie wir bereits bei dem auf Seite 87 geschilderten Boasschen Turbinenunterbrecher gesehen haben. Es galt nämlich die Aufgabe zu lösen, möglichst grosse Stromstärken in denkbarst kurzer Zeit präzise zu unterbrechen, da nur durch eine äusserst hohe Unterbrechungszahl ein für das Auge gleichmässiges Leuchten der Röhre erzielt wird.

Für geringe Betriebsspannungen und Funkenlängen bis zu 30 Centimeter ist eine der ersten Unterbrecher-

Digitized by Google

typen, der ca. 15—20 mal in der Sekunde unterbrechende Neefsche Hammer[1]) beibehalten worden. Man findet ihn meistens direkt mit dem Induktor verbunden (Fig. 70) und zwar derart, dass der Eisenkern der Primärspule gleichzeitig als treibender Elektromagnet dient. Eine

Fig. 71.

Modifikation dieses Unterbrechers stellt der in gleicher Weise befestigte Deprezsche Platinunterbrecher (Fig. 71) dar, der es bei leiserem Gang bis auf ca. 50 Unterbrechungen pro Sekunde bringt, allerdings auf Kosten der Funkenlänge. Für höhere Spannungen hat man

[1]) Auf Seite 12 beschrieben.

Digitized by Google

ebenfalls nach dem Prinzip des Neefschen Hammers einen Quecksilberunterbrecher konstruiert, bei dem sich die Vibration des Hammers auf einen Metallstift überträgt, der in ein birnenförmiges Gefäss eintaucht (Fig. 72). Das Gefäss ist soweit mit Quecksilber gefüllt, dass der Stift an seiner tiefsten Stelle in dasselbe eintaucht, wodurch der Stromkreis geschlossen ist. Beim Hochschnellen jedoch fährt der Stift aus dem Queck-

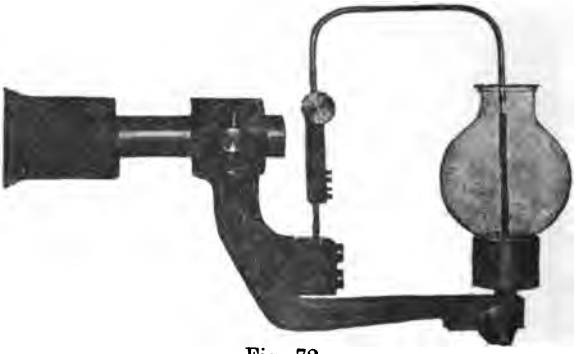


Fig. 72.

silber heraus und unterbricht die Verbindung. Unmittelbar über dem Quecksilber befindet sich Alkohol, das den Abreissfunken löscht. Die Unterbrechungszahl dieser Einrichtung ist der des Neefschen Hammers gleich. Bei einer weiteren Vervollkommnung werden die Bewegungen des Stiftes nicht durch die Hammervorrichtung, sondern durch einen kleinen Elektromotor herbeigeführt, der unabhängig von dem eigentlichen

Digitized by Google

Induktor betrieben wird (Fig. 73). Ein solcher Motor-Quecksilberunterbrecher, wie er zum Beispiel von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin, gebaut wird, unterbricht maximal 25 mal in der Sekunde.

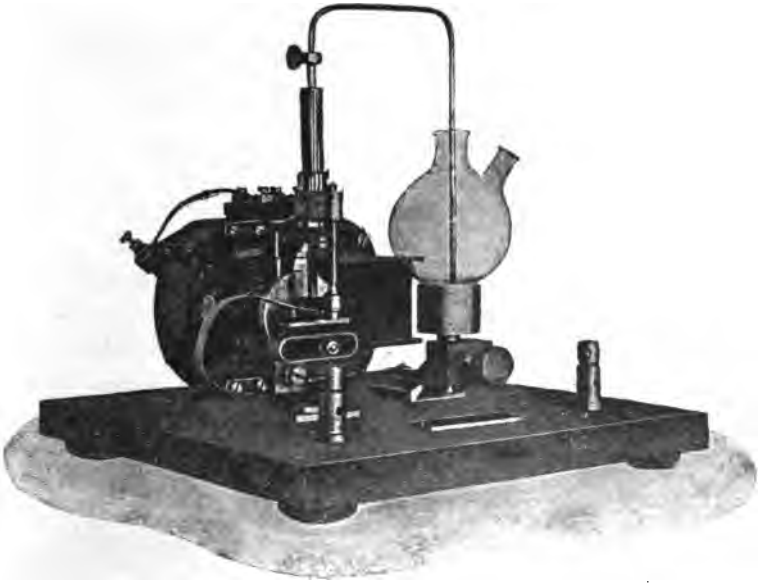


Fig. 73.

Eine von der gewöhnlichen Form dieses Unterbrechers etwas abweichende Konstruktion baut die Firma Ferdinand Ernecke, Berlin SW., unter dem Namen Rapidunterbrecher mit Doppelwechselkontakt (Fig. 74). Der Apparat besteht aus einem kleinen, auf

Digitized by Google

einem Eichenblock h aufmontierten Motor, der an den beiden Enden seiner Achse die Kurbeln k_1 i und k_2 i

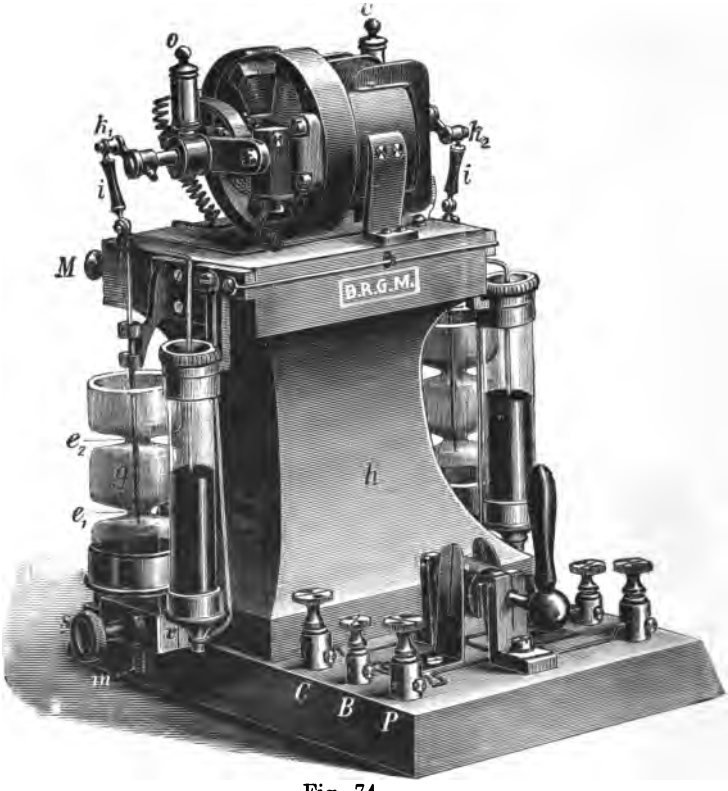


Fig. 74.

trägt, die um 180° gegeneinander versetzt sind. Diese Kurbeln bringen bei ihrer Bewegung 2 Kupferstifte zum

Digitized by Google

abwechselnden Eintauchen in entsprechende Quecksilbergefässe g g, so dass also bei einmaliger Umdrehung des Motors der Strom zweimal geöffnet und geschlossen wird; es erfolgt also bei einer gewissen Umdrehungszahl die doppelte Anzahl von Unterbrechungen. Dies hat, abgesehen von der Häufigkeit der Unterbrechungen, den Vorteil, dass zur Erreichung einer hohen Unterbrechungszahl der Motor verhältnismässig langsamer laufen kann, wodurch der einzelne Kontaktstift längere Zeit im Quecksilber bleibt. Der Kontakt wird dadurch ein innigerer und damit die Funken länger und kräftiger. Der Motor hat seine besonderen Anschlüsse M M, während die Klemmen B B mit der Batterie, P P mit der Primärspule des Induktors und C C mit dem Kondensator verbunden werden. Die Einschränkungen e_1 und e_2 der Glasgefässe dienen als Richtwerk beim Auffüllen von Quecksilber und Petroleum.

Ähnliche Motorunterbrecher, in Kleinigkeiten von einander verschieden, bringen noch Max Kohl, Chemnitz; Siemens & Halske, Berlin; Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen; Dr. Max Levy, Berlin; Voltohm-Elektricitätsgesellschaft, München, und andre in Handel.

Der letzte Grad von Vollkommenheit bei mechanisch in Thätigkeit gesetzten Unterbrechern dürfte endlich mit der Konstruktion der rotierenden Quecksilberunterbrecher gelungen sein. Ein typischer Vertreter dieser Art ist der Boassche Turbinenunterbrecher, den die Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin, baut, und

Digitized by Google

den wir an anderer Stelle bereits kennen gelernt haben.[1])

Gewissermassen eine Umkehrung dieser Konstruktion bildet der Levysche Quecksilberstrahlunterbrecher. Bei diesem wird nämlich ein ruhender Quecksilberstrahl gegen ein rotierendes Rad geschleudert, das mit spitz zulaufenden Zähnen versehen ist. Eine weitere Variation wird von Reiniger, Gebbert & Schall, Erlangen, ausgeführt. Der Quecksilberstrahl trifft gegen einen feststehenden Kontakt, aber ein sich drehender, isolierter Kranz mit Segmenten fängt ihn periodisch auf und hindert ihn, den Kontakt zu erreichen.

Den Beschluss dieser Unterbrechergruppe macht endlich der Quecksilberunterbrecher mit rotierendem Gleitkontakt der Firma W. A. Hirschmann, Berlin, (Fig. 75). In ein Gefäss G, das ebenfalls zum Teil mit Quecksilber, zum Teil mit Alkohol gefüllt ist, ragt durch das Lager L eine Achse A, die oben mit der Schnurscheibe S versehen ist, unten aber ein Hartgummigefäss H trägt. Dieses letztere ist mit einem mit zwei Aussparungen versehenen Kupfermantel M bekleidet, gegen den der zur Anschlussklemme N führende Metallstab St unter Vermittlung der Feder F mit dem Kontaktstück C drückt. Damit C nicht in die Aussparungen hineingleitet, ist oberhalb C eine Zunge P aus Isoliermaterial angebracht, die M noch nicht berührt, sondern gegen das gleichmässig runde Stück H schleift. Von der zweiten Anschlussklemme I führt ein Kupfer-

[1]) Auf Seite 87 beschrieben.

Digitized by Google

bügel K durch den Deckel D hindurch bis in das Quecksilber hinein. Wird der Unterbrecher in Thätigkeit gesetzt, so stellt C durch das Schleifen gegen M Stromschlüsse und Unterbrechungen her. Gleichzeitig tritt aber durch die Öffnungen P in den Hohlraum von

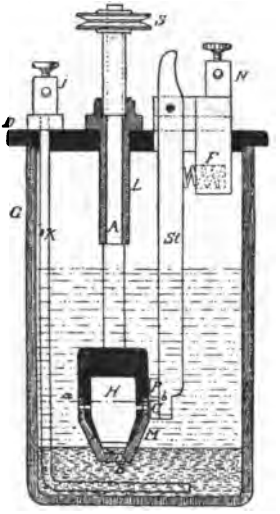


Fig. 75.[1])

H Quecksilber ein, das durch in Höhe von C befindliche Einschnitte herausgeschleudert wird, sich zum Teil zwischen C und M festsetzt und dadurch den Kontakt inniger macht. Das Quecksilber spielt also eigentlich eine ganz nebensächliche Rolle, sichert aber einen

[1]) Nach einem Referat im „Mechaniker" Jahrgang 1900.

Digitized by Google

gleichmässigen Stromschluss, so dass die Funken exakter werden als bei den andern Typen gleicher Art, bei denen dem Zufall ein zu grosser Raum gewährt ist.

Allen Typen gemeinsam ist aber der Vorteil, dass sie grosse Stromstärken unterbrechen und trotzdem

Fig. 76.

eine Veränderung der Unterbrechungszahl und der Dauer des Stromschlusses in weiten Grenzen gestatten.

Für den Fall, dass zum Betriebe des Induktors lediglich Wechselstrom vorhanden ist, hat Max Kohl, Chemnitz, einen Unterbrecher konstruiert, der eine Umtransformierung in Gleichstrom unnötig macht und

Digitized by Google

ein direktes Arbeiten mit dem Netzstrom gestattet (Fig. 76). Der Wechselstromunterbrecher beruht auf dem Gedanken, durch einen synchron schwingenden Anker den Wechselstrom während jeder Periode einmal im Maximum seiner Kurve zu unterbrechen. Der Anker wird durch einen Elektromagnet, welcher in

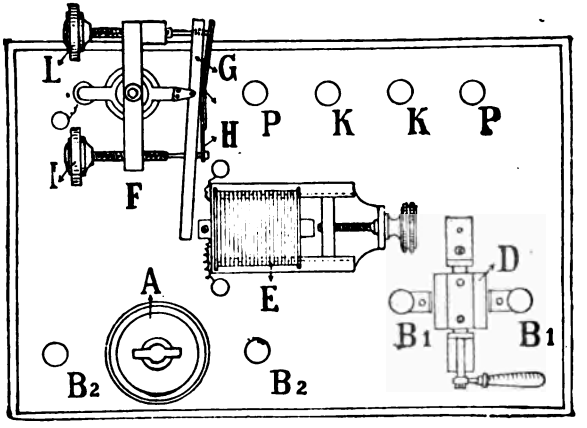


Fig. 77.

einen zweiten Stromkreis desselben Hauptstromes geschaltet ist, in synchrone Schwingungen versetzt. Die Unterbrechungen müssen genau in dem Punkte erfolgen, wo sich der die primäre Spule durchfliessende Strom im Maximum befindet. Die Einstellung auf diesen Punkt erfolgt durch eine Regulierschraube. Auf der schematischen Darstellung (Fig. 77) bezeichnen B_1 B_1

Digitized by Google

und B_2 B_2 die Klemmen für die Zuleitungsdrähte. Durch B_2 B_2 tritt der den Elektromagneten E erregende Strom ein, der durch den Ausschalter A geöffnet und geschlossen werden kann. Der Strom für den Induktor tritt bei B_1 B_1 in den Unterbrecher, passiert den Stromwender D und die Kontaktvorrichtung F und geht über die Klemmen P P nach der primären Spule des Funkeninduktors. Die Kontaktvorrichtung F besteht aus dem schwingenden Anker G mit der Kontaktfeder H, der Platinkontaktschraube I und der Schraube L mit Elfenbeinspitze. Die Thätigkeit des Unterbrechers ist nun folgende: Schliesst man durch A den Strom des Elektromagneten E, so wird G unter dem Einfluss der wechselnden Stromrichtung in lebhafte Schwingungen versetzt. Kurz bevor jedoch G das Ende seines Schwingungsweges in der Richtung nach dem Elektromagneten zu erreicht hat, berührt er die Kontaktfeder H und zwingt dieselbe, an seiner Bewegung teilzunehmen. Dadurch wird der an der Feder befindliche Platinkontakt von der Platinschraube entfernt und die Verbindung hergestellt. Bei der Rückschwingung verlässt der Anker die Kontaktfeder schon auf dem ersten Teile seines Rückweges und schliesst dadurch den Kontakt wieder. Die Platinschraube I muss genau so eingestellt werden, dass die Unterbrechung im Maximum der Kurve erfolgt. Die Schraube mit dem Elfenbeinstift dient zur Anspannung der Feder bis die Eigenschwingungen des Ankers der Periodenzahl des Wechselstromes entsprechen.

Digitized by Google

Ein direktes Arbeiten mit Wechselstrom gestattet auch der Wechselstrom-Gleichrichter derselben Firma (Fig. 78), der infolge seiner Einfachheit dem vorstehend beschriebenen Unterbrecher überlegen ist. Der durch geeignete Verwendung von Kapazität im Erregerstromkreis synchron und conphas zur Netzspannung schwin-

Fig. 78.

gende Anker eines polarisierten Unterbrechers steuert einen Unterbrecherkontakt im Primärstromkreis derart, dass nur Stromimpulse gleicher Richtung auftreten. Schliessung und Unterbrechung erfolgen genau in den Zeiten des Nullwertes der Netzspannung, der die Primärspule durchfliessende Gleichstromimpuls wird

Digitized by Google

zufolge der aus der Selbstinduktion resultierenden Verschiebung kurz nach Überschreitung seines Scheitelwertes unterbrochen. Durch die Verlegung in den abfallenden Kurventeil wird die Funkenbildung am Kontakt vermindert und eine relativ lange Lebensdauer desselben gewährleistet.

Von einschneidender Bedeutung für die Entwicklung der Röntgenstrahlentechnik wurde endlich die Erfindung

Fig. 79.

des Elektrolytunterbrechers durch Dr. A. Wehnelt in Charlottenburg. Wehnelt benutzt für seinen Apparat in geschickter Weise eine Erscheinung, die den Physikern wohl seit langem bekannt war, praktische Anwendung bisher jedoch noch nicht gefunden hatte. Stellt man in ein Becherglas, das mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, der aus einer grösseren Bleiplatte bestehenden Kathode eine Platindrahtspitze, etwa in ein Glasrohr eingeschmolzen, als Anode gegenüber (Fig. 79), so

Digitized by Google

geht bei einer Spannung von circa 80 Volt unter plötzlicher Verminderung der Stromstärke die Sauerstoffentwicklung an der Platinspitze mit einer eigentümlichen rötlichen Lichterscheinung vor sich. Gleichzeitig lässt sich ein sausendes Geräusch hören. Dieses Geräusch brachte bereits Richards, wie auch Koch und Wüllner zu dem Schluss, dass man es nicht mehr mit einem kontinuierlichen, sondern mit einem intermittierenden Strom zu thun habe. Wehnelt beobachtete dann 1899, dass eine Drahtspule von hoher Selbstinduktion, die dem Apparat vorgeschaltet wird, den Vorgang wesentlich begünstigt, insofern, als bei einer Erhöhung der Spannung die Stromstärkeverminderung nicht mehr eintritt, sondern es zu einer exakten Unterbrechung kommt mit einer Frequenz, die der Tonhöhe des begleitenden Geräusches proportional ist. — Da nun die Primärspule eines Induktors nach Fortfall des Kondensators die erforderliche Selbstinduktion in vorzüglicher Weise bildet, so bot sich in dem mit Schwefelsäure gefüllten Glase unter Anwendung der geschilderten ungleichen Elektroden ein Unterbrecher, der hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit und Einfachheit, wohl die Grenze des Erreichbaren bildet.

Der Vorgang an sich bedurfte jedoch zu seiner Ergründung noch längerer Zeit, bis Dr. Walter, Hamburg, die hier zutage tretende Erscheinung in folgender Weise erklärte: Infolge des grossen Widerstandes, welchen die kleine Oberfläche der die Anode bedeckenden Flüssigkeitsschicht dem Stromdurchgang entgegen-

Digitized by Google

stellt, erwärmt sich diese Schicht in kürzester Zeit sehr stark, und die Anode umgiebt sich momentan mit einer Wasserdampfhülle. Dadurch findet ein plötzlicher Abfall des Stromes statt. Im Augenblick des Abfalls jedoch entsteht in der primären Spule durch Selbstinduktion der sogenannte „Extrastrom", welcher dem vorhergehenden entgegengesetzt ist und eine erheblich höhere Spannung als dieser besitzt. Dieser Strom zersetzt die Wasserdampfhülle in ihre Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff, die sich sofort zu Knallgas vereinigen, indem sie eine explosionsartige Verbindung eingehen, wodurch die gesamte den Anodendraht umgebende Gashülle von derselben fortgeschleudert wird und eine vollständige Unterbrechung des Stromes stattfindet. Darauf tritt die Flüssigkeit aufs neue an den Draht heran, der Vorgang beginnt von neuem und wiederholt sich in der Sekunde mit einer Frequenz bis zu 2000 Mal, wie sich durch stroboskopische Messungen und mit Hilfe von Stimmgabeln feststellen lässt.

Da die Stromstärke, die dem Induktor zugeführt wird, ausser von der zur Verwendung kommenden Spannung, von der Oberfläche des Platinstiftes abhängig ist, so ist bei der konstruktiven Ausgestaltung des Wehnelt-Unterbrechers, dessen Ausführungsrecht Ferd. Ernecke, Berlin, erworben hat, auf eine Regulierbarkeit des Stiftes Rücksicht genommen worden. In einer viereckigen Glaszelle (Fig. 80) mit einem durchlöcherten Hartgummideckel befindet sich auf der einen Seite die

Digitized by Google

Bleiplatte, die mit einer auf dem Deckel befestigten Anschlussklemme leitend verbunden ist. In die gegenüberliegende Wand ist ein Isolationsstück eingelassen, das den von aussen regulierbaren Platinstift a enthält. Dieser Stift steht mit der zweiten Anschlussklemme in

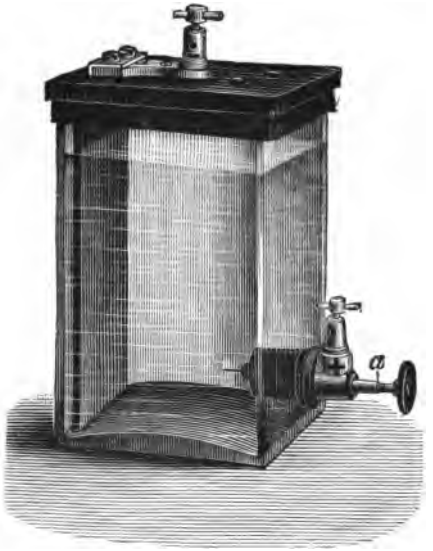


Fig. 80.

Verbindung. Das ganze Gefäss wird mit verdünnter Schwefelsäure von 16—20° Bé. bis etwa fingerbreit unter den Rand gefüllt. Dann wird die Klemme des Platinstiftes mit dem positiven Pol und die der Bleiplatte mit dem negativen Pol der Stromquelle ver-

Digitized by Google

bunden. Im umgekehrten Falle würde der Platinstift sofort verbrennen. — Bei einer noch bequemeren Form (Fig. 81) des Unterbrechers kommen mehrere parallel geschaltete, in Länge und Stärke verschiedene Platinstifte zur Anwendung, die je nach Bedarf ein-

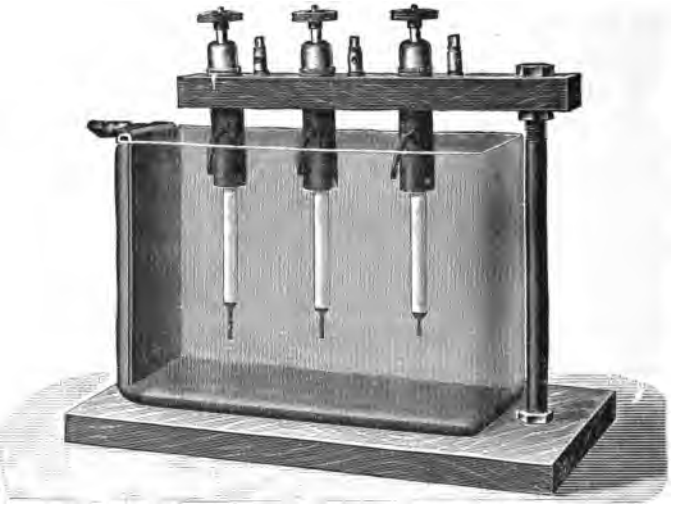


Fig. 81.

geschaltet werden können. Ausserdem existiert noch eine dritte Konstruktion des Apparates, bestimmt für einen länger andauernden, ununterbrochenen Betrieb, bei dem die Säure sich so stark erwärmt, dass die Unterbrechung aussetzt. Man hat diesen Übelstand durch eine im Innern des Gefässes untergebrachte

Digitized by Google

Kühlschlange, die durch einen Schlauch mit der Wasserleitung zu verbinden ist und die ständig von kaltem Wasser passiert wird, mit leidlichem Erfolge zu beheben versucht.

Neben dem Wehnelt-Unterbrecher ist noch ein anderer Elektrolytunterbrecher von Dr. Herm. Th. Simon konstruiert worden, der von Siemens & Halske A.-G., Berlin, gefertigt wird. In seiner neuesten Ausführung

Fig. 82.

(Fig. 82) besteht derselbe im wesentlichen aus einem Porzellandiaphragma, das in seinem unteren Teile eine oder mehrere Öffnungen enthält und das in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Glasgefäss eintaucht. Durch die Öffnungen hindurch füllt die Schwefelsäure auch das Innere des Diaphragmas. Sowohl in dem letzteren wie in dem Glasgefäss befindet sich eine Bleielektrode. Werden nun diese an die Leitung angeschlossen, so dass der Strom unter Vermittlung der

Digitized by Google

Schwefelsäure kursieren kann, so erhitzt sich infolge der grossen Stromdichte die Säure an den Diaphragmaöffnungen und kommt zur Verdampfung. Die isolierende Dampfschicht trennt die Flüssigkeit im Innern des Diaphragmas von der des Glasgefässes, und der Strom ist unterbrochen. Gleichzeitig aber tritt die Selbstinduktion der Primärspule in Kraft, durchschlägt die Dampfmasse und entzündet sie, und die Säurehälften sind wieder leitend verbunden. Darauf wiederholt sich derselbe Vorgang.

Da der Simonsche Unterbrecher bei einer Änderung der Stromstärke stets eines neuen Porzellandiaphragmas mit entsprechenden Öffnungen bedarf, so hat ihn Ernst Ruhmer, Berlin, derart modifiziert, dass statt des Diaphragmas leicht auswechselbare Porzellanplättchen zur Verwendung kommen. Der Apparat (Fig. 83) besteht nunmehr aus zwei ganz gleichen, halbcylindrischen Gefässen, welche mit den flachen Seiten aneinandergelegt und durch Schrauben, die seitlich durch Ansätze gesteckt werden, zu einem cylindrischen Doppelgefäss verbunden werden. In den graden Zwischenwänden befindet sich ein kreisförmiges Loch, durch welches beide Gefässe nach dem Zusammensetzen kommunizieren. Diese Kommunikation wird durch ein dazwischengelegtes Plättchen, das in der Mitte eine oder mehrere Öffnungen aufweist, verschlossen, so dass die Verbindung nunmehr nur noch auf die Öffnungen beschränkt bleibt. In jedes Gefäss ragt unten eine Bleielektrode hinein, ausserdem ist der Deckel mit einer eigentümlich ge-

Digitized by Google

formten Kühlschlange aus Glas oder Porzellan versehen. Der Vorgang in diesem Unterbrecher ist dem im Simonschen Apparat vollkommen identisch.

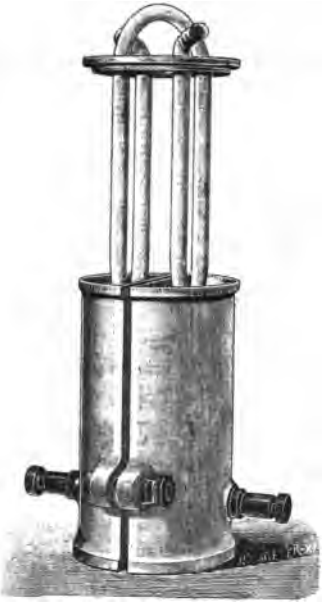


Fig. 83.

Alle Elektrolytunterbrecher, sowohl der des Dr. Wehnelt, wie die Konstruktionen von Simon und Ruhmer, bedürfen, wie bereits erwähnt, in hohem Grade der Selbstinduktion. Bei ihrer Anwendung muss

Digitized by Google

also der Kondensator des Induktors in Fortfall kommen. Von ihren Fehlern sei ausser der rapiden Erhitzung der Säure noch erwähnt, dass die meisten Röhrentypen ihren Anforderungen nicht gewachsen sind und bald unbrauchbar werden.

Im Gegensatz zu der Mannigfaltigkeit der Unterbrecher begegnet uns bei den Röntgenröhren stets ein und dieselbe charakteristische Form. Die ursprünglich zur Anwendung kommende Methode, die von der

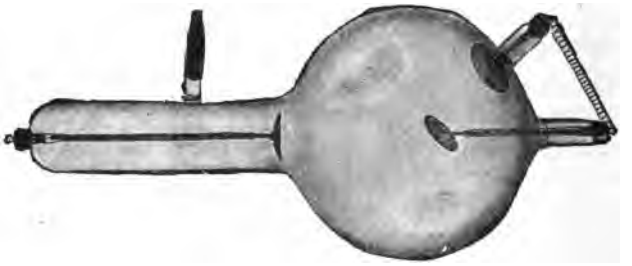


Fig. 84.

Kathode ausgehenden Strahlen einfach auf die Glaswand auftreffen und dort die Bildung der Röntgenstrahlen vor sich gehen zu lassen, wurde wegen ihrer Unzulänglichkeit bald verworfen. Schon Röntgen hatte erkannt, dass metallene Auffangestellen, namentlich aus Platin bestehende, eine wesentlich günstigere Wirkung ergaben, als die Glaswand. Man stellte also in einer Hittorfschen Röhre von kugelförmiger Gestalt der in einem besonderen Ansatzstück befindlichen Kathode

Digitized by Google

eine sogenannte Antikathode als Auftrefffläche gegenüber, an der nunmehr die Röntgenstrahlen in durchaus präziser Weise entstehen. Diese Antikathode, ein Platin- oder verplatiniertes Blech, ist mit der seitlich angeordneten Anode verbunden. — In dieser Gestalt (Fig. 84) haben sich die Röhren bis auf den heutigen Tag erhalten und werden in ganz vorzüglicher Weise von Firmen wie E. Geissler & Co., Berlin, Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin, u. s. w. hergestellt.

Um den verderblichen Einflüssen der Elektrolytunterbrecher vorzubeugen, hat Max Kohl, Chemnitz,

Fig. 85.

eine besonders widerstandsfähige Röhre (Fig. 85) konstruiert. Die Antikathode dieser Röhre, die sonst leicht in Glut gerät und verdirbt, besteht aus einem schweren Metallknopf mit schräger reflektierender Fläche aus geeignetem Material. Der Knopf befindet sich an einem Metallrohr, das bis in den kühl bleibenden Antikathodenhals hineinragt und an dessen Innenflächen federnd anliegt. Durch die gute Wärmeleitung der verhältnismässig grossen Metallmasse und deren Abkühlung im Glashals wird die Erhitzung des reflektierenden Teils der Antikathode auf das Äusserste beschränkt.

Digitized by Google

— Den direkten Gegensatz zur Kohlschen Röhre bildet die ebenfalls für grosse Beanspruchungen konstruierte sogenannte Kontraströhre von Dr. Max Levy, Berlin. Die aus Platin bestehende Antikathode ist auf einer aus nicht wärmeleitendem Material geformten kräftigen Stütze befestigt. Wohl gerät der Platinspiegel in Glut, die grosse Wärmeaufnahme des reichlich vorhandenen Isoliermaterials sorgt aber dafür, dass diese Glut längere Zeit einen bestimmten Grad nicht überschreitet, so dass nur die Vorteile des Glühens ausgenutzt werden. In diesem Zustand giebt nämlich die Röhre die kontrastreichsten Bilder. — Andere Firmen, z. B. Ferdinand Ernecke, Berlin, haben sich zur Anwendung bei Elektrolytunterbrechern durch Röhren mit Wasserkühlung der Antikathode zu helfen gewusst. Das Wasser tritt aus einem hochgestellten Gefäss durch einen Gummischlauch in den röhrenförmig gestalteten Hals der Antikathode, kursiert dort dauernd während des Gebrauchs, indem es nach unten hin abfliesst (Fig. 86).

Ausser der übermässigen Beanspruchung durch die Elektrolytunterbrecher war es noch eine innere Eigenschaft der Röhren, die zu überwinden den Konstrukteuren Schwierigkeiten bot. Mit der Zeit verändert sich nämlich der Luftdruck in der Röhre, das Vakuum wird höher und schliesslich ist der elektrische Funke nicht mehr im stande, das Innere der Röhre zu durchdringen. Je nach dem Grade des Vakuums ändert sich auch Aktivität der Strahlen. Während eine „weiche"

Digitized by Google

Röhre die konstrastreichsten Bilder giebt, nimmt mit dem „Härterwerden“ die Kraft der Strahlen mehr und mehr zu. Schliesslich verschwinden alle Details und es erscheinen nur noch die Schatten der Knochen auf fast einheitlichem, hellem Grund. Um das Vakuum wieder erniedrigen zu können und dadurch die zu hart ge-

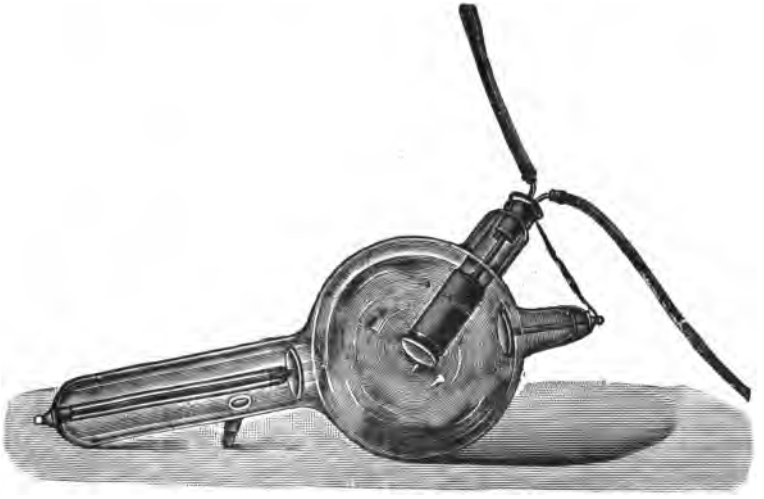


Fig. 86.

wordene Röhre wieder weicher zu machen und ihre Brauchbarkeit aufs neue herzustellen, hat man verschiedene Wege beschritten. Einige Fabrikanten schmelzen in die Glaswand einen Platinstift ein, der beim Hartwerden der Röhre durch einen Bunsenbrenner bis zur Weissglut erhitzt wird (Fig. 87). In diesem

Digitized by Google

Zustande lässt das Platin Wasserstoff in den Innenraum so diffundieren, dass die Röhre für den Funken wieder leitend wird. Andre benutzen statt des Platins Chemikalien wie Phosphor, Jod u. s. w., deren Dämpfe die gleiche Wirkung wie der Wasserstoff hervorbringen.

Eine äusserst einfache und praktische Regulierung hat W. A. Hirschmann, Berlin, erdacht, die eine Änderung des Vakuums nach beiden Richtungen hin

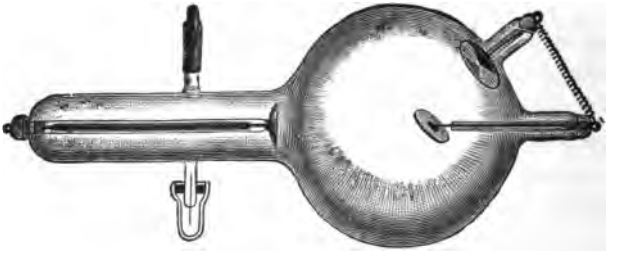


Fig. 87.[1])

ohne Unterbrechung des Betriebes gestattet. In seiner Röhre (Fig. 88) ist ausser der Kathode D noch eine Nebenkathode B vorhanden, die aus Kohlenstoff besteht. Ebenso steht die in bekannter Weise mit der Antikathode R verbundene Anode C noch mit einer Hilfsanode E aus Platin in Verbindung. Ist nun die Röhre zu weich, so trennt man durch Aufheben der beweglichen Leitung H mittelst eines isolierten Stäbchens die Anode C von E, so dass der Strom

[1]) Nach einer Konstruktion von F. Ernecke, Berlin.

Digitized by Google

nunmehr allein durch die Hilfsanode geht. Das Platin der Letzteren zerstäubt und macht die Röhre härter. Will man jedoch die zu harte Röhre wieder weich machen, so wird die Leitung Z einige Augenblicke angehoben, bis ein Funken bei B zur Nebenkathode übergeht. Diese wirkt dann ähnlich den oben angegebenen Chemikalien.

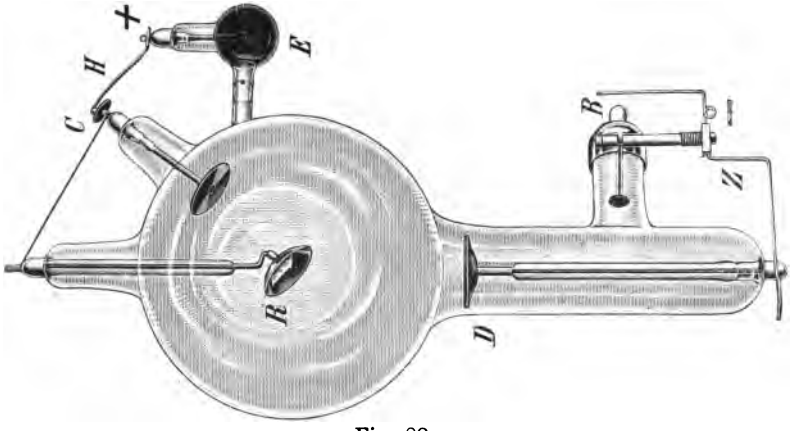


Fig. 88.

Endlich sei auch noch der Gundelach-Dessauerschen Röhre Erwähnung gethan, die ebenfalls eine eigenartige Reguliervorrichtung besitzt. Zwischen der Antikathode und der Hilfsanode befindet sich eine Funkenstrecke, deren Grösse durch Drehen eines Griffes variabel ist. Soll die Röhre hart wirken, so ist diese Funkenstrecke sehr gross zu wählen; dann dient nämlich die Antikathode gleichzeitig als alleinige Anode. Ist jedoch

Digitized by Google

die Funkenstrecke gleich null, so sind Antikathode und Hilfsanode unmittelbar miteinander verbunden und die Röhre wirkt weich. — Auch die übrige konstruktive Durchbildung dieser Röhre ist vorzüglich. So fällt namentlich die Anordnung der Antikathode in einem engen Rohr auf, für die folgende Gründe sprachen: Die von einem Hohlspiegel ausgehenden Kathodenstrahlen treffen sich nicht im Krümmungsmittelpunkt, sondern erleiden nur eine Einschnürung, so dass in einer gewöhnlichen Röhre die Röntgenstrahlen nicht von einem Punkt, sondern von einer bald kleineren, bald grösseren Fläche der Antikathode ausgehen. Die Einschnürung erleidet nämlich je nach der Veränderung des Vakuums eine Verschiebung. Dieser stete Wechsel der Entstehungsfläche tritt als Unschärfe störend in Erscheinung. Wie nun Hittorf und Puluj nachgewiesen haben, empfangen Glasröhren beim Durchgang von Kathodenstrahlen statische Ladung, die abstossend auf die Strahlen wirkt. In sehr engen Glasröhren verhindert diese Ladung sogar den Durchgang der Strahlen überhaupt. In der Gundelach-Dessauerschen Röhre ist die Weite des Glasrohres um die Antikathode nun derart gewählt, dass die Kathodenstrahlen punktförmig auf die letztere konzentriert werden, und dieser Konzentrationspunkt bildet eine äusserst wirksame, unveränderliche Entstehungsstelle für die Röntgenstrahlen.

Die Notwendigkeit einer momentanen Beobachtung durchleuchteter Teile hat zur wesentlichen Verbesser-

Digitized by Google

ung der Leuchtschirme geführt. Als fluoreszierende Substanz wird zwar noch immer das Baryum-Platincyanür verwendet, das bereits Röntgen zum ersten Nachweis seiner Strahlen diente, aber das ehedem unausgeglichene Korn der Schirme ist neuerdings sehr gleichmässig geworden, was auf die Schärfe der Bilder von günstigem

Fig. 89.[1])

Einflusse ist. Ausserdem ist die Barium-Platincyanürschicht durch einen starken Lacküberzug vor äusseren Einflüssen und Beschädigungen geschützt. Als sehr vorteilhaft hat sich der Gebrauch des Kryptoskops (Fig. 89) erwiesen, eines Apparates, der es gestattet, auch im hellerleuchteten Zimmer gute Beobachtungen

[1]) Nach einer Konstruktion von M. Kohl, Chemnitz.

Digitized by Google

machen zu können. Derselbe besteht aus einem konisch sich erweiternden, innen schwarz angestrichenen Kasten, dessen eines, der Röhre zugekehrtes Ende durch einen Leuchtschirm verschlossen ist. Das andre schmale Ende ist so ausgeschnitten, dass es sich der Gesichtsform des Beobachters anschmiegt; des besseren Abschlusses halber ist es ausserdem noch mit Chenille

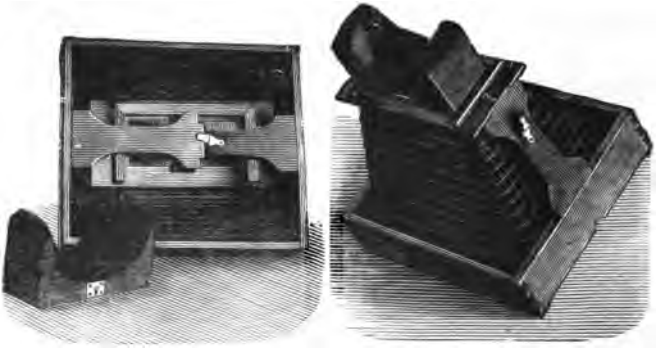


Fig. 90.

umfüttert. Die Kryptoskope von Ernecke lassen sich ferner balgartig zusammenklappen, wodurch sie bei der Aufbewahrung und beim Transport weniger Platz einnehmen (Fig. 90).

Für photographische Röntgenaufnahmen hatte man sogenannte Verstärkungsschirme aus wolframsaurem Calcium hergestellt, die, gegen die Schichtseite der photographischen Platte gelegt, eine wesentliche Ver-

Digitized by Google

kürzung der Belichtungszeit ermöglichten. Da man aber vielfach die Erfahrung gemacht hat, dass durch den Gebrauch derselben die Bilder unscharf wurden, so sind sie wenig zur Einführung gelangt. Als wesentlich vorteilhafter haben sich die hochlicht- und farbenempfindlichen Platten, die auf beiden Seiten mit Schicht versehen sind, erwiesen, für deren Herstellung namentlich die Firma Dr. Schleussner, A.-G., Frankfurt a. M., einen guten Ruf besitzt. Auch die üblichen photographischen Kassetten sind für Aufnahmen mit X-Strahlen nicht verwendbar, weil der Deckel meist nicht aus gleichmässigem Material besteht, sondern von Fasern durchzogen ist, die sich auf der Platte abbilden. Man hat daher eine Kassette konstruiert, deren Deckel aus möglichst gleichmässigem Karton gefertigt ist und der keinerlei Eindruck auf der Platte hinterlässt.

Zur Befestigung der Röntgenröhren werden Stative benutzt, die den cylindrischen Teil der Röhre fest umfassen. Sie sind nach allen Seiten verstellbar und ermöglichen die für jede Aufnahme günstigste Einstellung der Röhre. Ausserdem sind sie derartig gebaut, dass sich Erschütterungen nicht direkt auf die letztere übertragen. — Um photographische Aufnahmen von Patienten zu erleichtern, kommen verstellbare Lagerungstische und Stühle zur Anwendung, die unter Vermeidung aller störenden Metallteile gleichzeitig eine bequeme und zweckgemässe Placierung der Aufnahmeplatten gestatten.

Digitized by Google

Auch mit den letztgenannten Vorrichtungen ist die Zahl der Einrichtungsgegenstände für das Röntgenlaboratorium durchaus nicht erschöpft. Aber Apparate wie Sekundenuhr, Strommesser, Polsucher, Dunkelkammereinrichtung, Akkumulatoren, Tauchbatterien usw. gehören dem Gesamtgebiete der Elektrotechnik resp. Photographie an, so dass wir uns hier ihre Besprechung ersparen können.

Digitized by Google

Teslaströme und Teslalicht.

Die interessanten und Aufsehen erregenden Experimente Nicola Teslas[1]), welche im wesentlichen der Schaffung einer neuen Lichtquelle galten, haben in der Technik eine Anwendung bisher nicht gefunden und dürften sie auch wohl in absehbarer Zeit kaum finden; da jedoch die merkwürdigen und für die Forschung so klärenden Eigenschaften schneller Oscillationen durch die von Tesla getroffenen Anordnungen ausserordentlich intensiv in Erscheinung treten, so sind seine Versuche, auch vom rein physikalischen Standpunkte aus betrachtet, wohl wert, den vorbeschriebenen Arbeiten des gleichen Gebietes angegliedert zu werden.

Tesla ging von der Absicht aus, die Glüherscheinungen in evakuierten Röhren beim Stromdurchgang praktischen Zwecken nutzbar zu machen, und um diese Röhren überall ohne Zuleitung zum Leuchten zu bringen, stellte er sich die Aufgabe, eine Stromquelle zu schaffen, die den Raum mit Strömen hoher Wechselzahl und

[1]) Nicola Tesla, geb. 1856 zu Smiljan in Kroatien, lebt zur Zeit in Amerika.

Digitized by Google

hohen Potentials anfüllt. „Denn“ — so schildert er in seiner phantasievollen Art die Endziele seiner Arbeit — „Wechselströme, besonders jene von grosser Wechselzahl, gehen mit erstaunlicher Leichtigkeit durch verdünnte Gase. Die oberen Schichten der Luft befinden sich in verdünntem Zustande und es bedarf daher, um solche Ströme fortzuleiten, blos der Überwindung rein mechanischer Schwierigkeiten. Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit den enormen Potentialen, welche wir durch hohe Wechselzahl und mit Hilfe der Ölisolation hervorbringen können, leuchtende Entladungen durch viele Meilen verdünnter Luft hindurch bewerkstelligt werden können, und dass wir durch eine derartige Übermittelung der Energie von Hunderten und Tausenden von Pferdekräften in einer bedeutenden Entfernung von der stationären Stromquelle Motoren oder Lampen in Betrieb setzen können.“ [1])

Zunächst bemühte sich Tesla längere Zeit, eine für seine Zwecke brauchbare elektrische Maschine zu bauen, in der in bekannter Weise Wechselströme induziert werden; aber trotz verschiedener Konstruktionen gelang es ihm mit einer solchen nicht, zufriedenstellende Resultate zu erzielen. Er brachte es mit seinem Alternator [2]) nur auf eine Wechselzahl von 30000 pro Sekunde, womit er an die äusserste Grenze, die sich auf mecha-

[1]) Fodor, Experimente mit Strömen hoher Wechselzahl und Frequenz. Wien 1894.

[2]) Beschrieben in der Elektrotechnischen Zeitschrift, 1891, Seite 327.

Digitized by Google

nischem Wege erreichen lässt, angelangt zu sein glaubte [1]). So sah sich denn auch Tesla auf die oscillatorischen Entladungen, wie sie sich durch den Schliessungsfunken einer Leydener Flasche ergeben, angewiesen. Er verband beide Belegungen einer derartigen Flasche mit den Polen eines Induktoriums, damit die Entladungen in ununterbrochener Folge stattfinden können; ausserdem schaltete er in den Schliessungskreis der Flasche eine kleine Luftstrecke, die der Spannung der Ladung erst einen bestimmten hohen Wert aufzwingt, ehe die Entladung unter Durchbrechung der Luftstrecke einsetzen kann. Schon bei dieser einfachen Kombination treten einige der für Ströme hoher Wechselzahl charakteristischen Erscheinungen zu Tage, so die sogenannte Impedanz [2]), die sich bei folgendem Versuch gut beobachten lässt: Ein dicker Kupferdrahtbügel, der an einer Stelle

---

[1]) Thatsächlich ist diese Wechselzahl später mehrfach überboten worden. So hat Professor Ewing eine Wechselstrommaschine gebaut, die durch eine Parsonsche Dampfturbine mit 12000 Umdrehungen in der Minute direkt angetrieben wurde und kam auf 56000 Wechsel pro Sekunde. (The Electrician, November 1892). Und Pyke und Harris konstruierten einen ähnlichen Alternator, mit welchem eine Wechselzahl von 64000 erreicht wurde. (The Electrician, Dezember 1892).

[2]) Das Wort „Impedance" ist 1889 von der Sektion A der British Association gewählt worden an Stelle des vom Pariser internationalen Elektrikerkongress angenommenen Ausdrucks „resistance apparente" (anscheinender Widerstand), der nur auf Wirkungen zerstreuender Natur (dissipative in their nature) angewendet werden soll, während der erstere Begriff im allgemeinen das Verhältnis der effektiven E M K zur effektiven Stromstärke ausdrückt.

Digitized by Google

durch eine kleine Glühlampe überbrückt ist (Fig. 91), wird in die Entladungsleitung eingeschaltet. Lassen wir die oscillierende Entladung der Leydener Flasche hindurchgehen, so wird dieses Lämpchen zum Leuchten gebracht, während es bei Anwendung eines Gleichstromes dunkel bleibt. Für einen gleichgerichteten Strom bildet

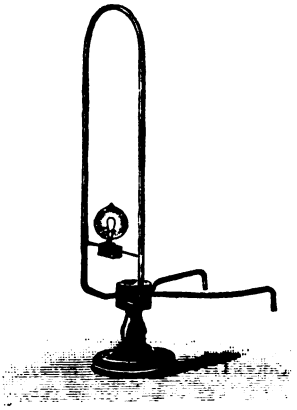


Fig. 91.

der starke Kupferbügel nämlich den bequemeren Weg, sodass sein weitaus grösster Teil durch diesen hindurch geht, während die dünne Lampenbrücke infolge ihres grösseren Widerstandes fast stromfrei bleibt. Für die schnellen Wechselströme hingegen kommt es einzig und allein in Betracht, dass die Lampenbrücke den kürzeren Weg im Äther darstellt.

Digitized by Google

Dieses verschiedene Verhalten ist von prinzipieller Bedeutung für beide Stromarten. Die Ätherverschiebungen, die sich bei einem Stromdurchgang ringförmig um den Leiter abspielen, dringen auch mehr oder minder tief in sein Inneres ein. Es wird um so tiefer sein, je langsamer sich der Wechsel in der Stromrichtung vollzieht. Daher durchfliesst denn auch ein konstanter gleichgerichteter Strom den Leiter in seiner ganzen Dicke mit derselben Stromdichtigkeit. Das Eindringen in das Innere geht mit einer Art Reibung vor sich, aus welcher die Erwärmung von Drähten zu hohen Widerstandes resultiert. Ausserdem hemmt es auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, so dass beispielsweise Siemens — wie an anderer Stelle bereits erwähnt wurde — bei seinen Messungen bezüglich der letzteren statt des thatsächlichen Wertes von 300 000 Kilometer pro Sekunde nur 260 000 Kilometer fand. Je schneller jedoch die Ströme ihre Richtung wechseln, um so dünner ist die Oberflächenschicht des Leiters, die an dem Vorgang teilnimmt. Bei genügend hoher Frequenz führt bei einem sonst gut leitenden Metalldraht schliesslich nur noch eine unendlich dünne Oberflächenschicht Strom, während sein Kern vollkommen stromfrei bleibt. Denn ehe der letztere Zeit hat, sich an der Anfangsrichtung des Stromes zu beteiligen, hat dieser schon seine Richtung umgekehrt.[1])

[1]) Hertz schildert den Vorgang der Impedanz folgendermassen: Fliesst ein unveränderlicher, elektrischer Strom in einem cylindrischen Drahte, so erfüllt er jeden Teil des Querschnitts mit gleicher Stärke.

Digitized by Google

Für seine Ströme höchster Wechselzahl bringt Tesla ausser den genannten Apparaten auch noch einen sogenannten Hochspannungstransformator zur Anwendung, den er folgendermassen konstruiert hat: Eine Spule mit zirka 10 Windungen 4 Millimeter starken Kupferdrahtes in einem Hartgummimantel ist von einer zweiten Spule, bestehend aus zirka 200 Windungen

---

Ist aber der Strom veränderlich, so bewirkt die Selbstinduktion eine Abweichung von dieser einfachen Verteilung. Denn da die mittleren Teile des Drahtes von allen übrigen im Mittel weniger entfernt sind, als die Teile des Randes, so stellt sich die Induktion den Veränderungen des Stromes in der Mitte des Drahtes stärker entgegen, als am Rande und infolge hiervon wird die Strömung die Randgebiete bevorzugen. Wenn der Strom seine Richtung einige hundert Male in der Sekunde wechselt, kann die Abweichung von der normalen Verteilung schon nicht mehr unmerklich sein. Diese Abweichung wächst schnell mit der Zahl der Stromwechsel, und wenn gar die Strömung ihre Richtung viele millionen Male in der Sekunde wechselt, so muss nach der Theorie fast das ganze Innere des Drahtes stromfrei erscheinen und die Strömung sich auf die nächste Umgebung der Grenze beschränken. Nach der Auffassung von Heaviside und Poynting pflanzt sich die elektrische Kraft, welche den Strom bedingt, überhaupt nicht in dem Drahte selber fort, sondern tritt unter allen Umständen von aussen her in den Draht ein und breitet sich in dem Metall verhältnismässig langsam und nach ähnlichen Gesetzen aus, wie Temperaturveränderungen in einem wärmeleitenden Körper. Es wird also, wenn die Kräfte in der Umgebung des Drahtes die Richtung beständig ändern, die Wirkung dieser Kräfte sich nur auf eine sehr kleine Tiefe in das Metall hinein erstrecken; je langsamer die Schwankungen werden, desto tiefer wird die Wirkung eindringen, und wenn endlich die Änderungen unendlich langsam erfolgen, hat die Kraft Zeit, das ganze Innere des Drahtes mit gleichmässiger Stärke zu erfüllen. (Annalen d. Physik, Bd. 35, pag. 395.)

Digitized by Google

dünnen Drahtes (1 Millimeter) umgeben. Der ganze Apparat ist in einer länglichen Glaswanne (Fig. 92) untergebracht, die fast bis zum Rande mit Öl gefüllt ist, das, um luftfrei zu werden, längere Zeit stark erhitzt worden ist. Dieser Transformator ist aber später von Elster und Geitel, namentlich durch Fortlassung der Ölisolation wesentlich vereinfacht worden. Die Primär-

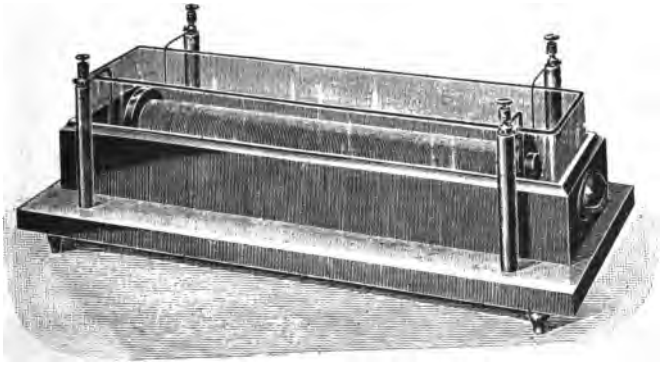


Fig. 92.

spule mit zirka 6 Windungen 4 Millimeter starken, mittelst Kautschuk isolierten Drahtes umgiebt diesmal die in ihrer Mitte aufrecht stehende Sekundärspule, die aus einem mit 500 Windungen 0,4 Millimeter starken, seidenbesponnenen Kupferdrahtes bewickelten Glasrohr besteht. Der Abstand beider Spulen von einander ist ein verhältnismässig grosser, um das Durchschlagen zu vermeiden. Wie stark die induzierende Kraft des hoch-

Digitized by Google

gespannten Primärstromes ist, davon giebt der nachstehende Versuch einen Beweis. Schiebt man über die Primärspule einen Drahtring mit nur einer Windung, so gerät eine mit seinen Enden verbundene Glühlampe in Rotglut. Weist der Drahtring aber zwei Windungen auf (Fig. 93), so wird die Lampe weissglühend.

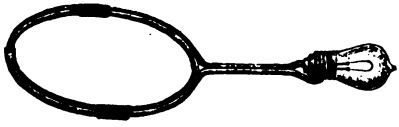


Fig. 93.

Die ganze Apparatzusammenstellung giebt Fig. 94 wieder. Wird der Induktor in Thätigkeit gesetzt, so strahlt die Sekundärspule des Transformators lautknallende flammenartige Büschel aus. Verbindet man

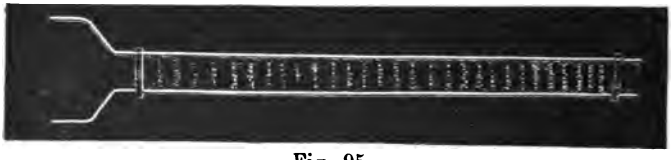


Fig. 95.

ihre beiden Pole mit zwei Drahtringen, die zu weit von einander entfernt sind, als dass direkte Funken zwischen ihnen übergehen könnten, wie es in Fig. 94 dargestellt ist, so bildet sich zwischen beiden Ringen ein leuchtender Kegelstumpf. Zwischen zwei gradegespannten Drähten stellt sich ein leuchtendes Band ein (Fig. 95).

Digitized by Google

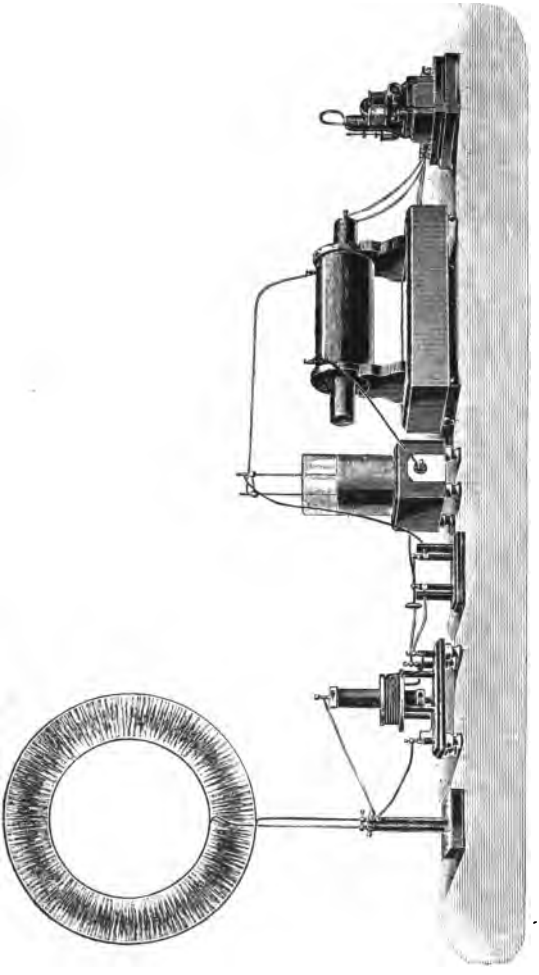


Fig. 94.

Digitized by Google

Begleitet sind alle diese Erscheinungen von einem intensiven Ozongeruch, der auf das Auftreten der starken Spannungen im Äther zurückzuführen ist. Die letzteren lassen es nämlich zu einem Zerreissen der zweiatomigen Sauerstoffmoleküle kommen, die sich darauf zu der dreiatomigen Modifikation des Sauerstoffs, dem Ozon, wieder zusammenfinden.

Zur Erzeugung des eigentlichen Teslalichtes ist es notwendig, die beiden Pole der Sekundärspule des Transformators mit zwei Blech- oder Drahtgeflechtschirmen von zwei bis drei Quadratmeter Grösse, die sich in einer

Fig. 96.

Entfernung von einigen Metern gegenüberstehen, zu verbinden. Zwischen diesen beiden Schirmen bildet sich dann ein Feld von hohen schnellwechselnden Ätherspannungen. In einem derartigen Felde giebt jeder isolierte Leiter Funken von sich, wenn man ihm die Hand nähert, während seine spitzen Ecken im gleichen Felde Lichtbüschel ausstrahlen. Ein Telephon fängt von selbst zu summen an, berührt man jedoch einen grösseren isolierten Leiter mit ihm, so lässt es einen lauten Ton hören. Hält man nun evakuierte Röhren in das Feld, so leuchten sie mit eigenartigem ruhigen bläulichen und rötlichen Lichte auf; sie bedürfen dazu keiner Elektroden und können über ein Meter lang sein, wie

Digitized by Google

die in Fig. 96 dargestellte Röhre, die nach Teslas Angaben zickzackförmig gebogen ist. Je näher man die Röhre einem Pole bringt, um so intensiver ist die Lichtwirkung. Eigenartig ist auch die Leuchterscheinung in einer hochausgepumpten Glaskugel (Fig. 97), in der sich in der Nähe der Wandung ein heller Ring bildet, während ihr Inneres dunkel bleibt. Die Ätherspannungen

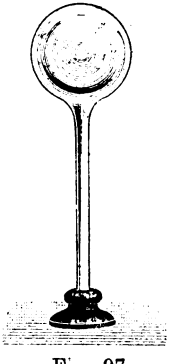


Fig. 97.

können nämlich nicht bis in die Mitte dringen, da sie von den äussersten Schichten bereits aufgezehrt werden, indem sie diese zum Leuchten bringen.

Ausser diesen einfachen, elektrodenlosen Glasgefässen hat Tesla auch noch eigentümlich gestaltete Lampen mit Leuchtkörpern (Fig. 98) geschaffen, die im Prinzip den gewöhnlichen Glühlampen ähneln. In ihnen soll nämlich nicht das Gas die eigentliche Lichtquelle abgeben, sondern der Leuchtkörper, der durch die ihm

Digitized by Google

zugeführte Energie auf eine möglichst hohe Temperatur gebracht wird. Es wurden deshalb neben Kohlenfäden auch Körper aus feuerbeständigem Material verwendet, wie es die Oxyde verschiedener Metalle, beispielsweise Zirkonoxyd bilden. Um die Energie auf den Glühkörper möglichst zu konzentrieren und eine induktive Wirkung auf das umgebende, verdünnte Gas zu hintertreiben, um-

Fig. 98.

giebt Tesla den Glaskörper zum Teil mit einer dünnen Aluminiumschicht, die eine Beschirmung des Körpers zur Folge hat. In andern Fällen beschränkt er sich wieder darauf, phosphoreszierende Substanzen, wie Calciumsulfit oder Zinksulfit in den Hohlraum einzuschliessen.

Die Anwendbarkeit solcher Lampen denkt sich Tesla in einem Zimmer, dessen Decke sowohl wie Fussboden

Digitized by Google

eine netzartige Leitung aufweist, die mit je einem Pol des Transformators verbunden ist. Er selbst hat diesen Versuch praktisch ausgeführt, und mit einer Zahl Lampen verschiedener Grösse und Form einen Raum erhellt. Raverot giebt von diesem Experiment in einem Aufsatz: Les Expériènces de M. Tesla[1]) folgende Schilderung: „Eine Metallplatte von ungefähr drei Meter Länge und ein Drittel Meter Breite war ungefähr zweieinhalb Meter über dem Platz des Vorlesers aufgehängt; das elektrostatische Feld erstreckte sich über dem Raume, wo sich der Experimentierende aufhielt, zwischen der Platte und dem Boden, welche während des Experimentes mit den Polen der Entladung verbunden waren. Luftleere Röhren von mehr als ein Meter Länge, welche von Tesla in der Hand gehalten und im Felde vorgezeigt wurden, erhellten sich in ihrer ganzen Länge mit bis an Erleuchtung streifendem Schein, dessen fahler Ton an den Mondschein erinnerte. Man könnte sie mit einem leuchtenden Schwert in der Hand eines richtenden Erzengels vergleichen. Die Erscheinung ist sehr schön und von einem grossen Effekt."

Einer derartigen Beleuchtungsmethode kommt ein Umstand zu statten, der zunächst recht merkwürdig erscheint. Die Teslaströme sind trotz ihres ausserordentlich hohen Potentials[2]) für den menschlichen

[1]) Erschienen in Lumière Elektrique, Band XLIII No. 9.

[2]) Die Spannung der Teslaströme wurde von E. Thomson nach Schätzung aus der Funkenlänge zu ungefähr einer halben Million Volt angegeben. Heydweiller bemerkt jedoch, dass die höchsten Potentiale,

Digitized by Google

Körper nicht fühlbar. Man kann beide Pole der Sekundärspule des Transformators anfassen und empfindet nur, trotz des lebhaften Funkenüberganges, im Augenblick des Zugreifens ein prickelndes Gefühl, das aber bei genügend festem Griff ganz verschwindet. Die schnellen Wechselströme dringen eben in das Innere des Körpers nicht ein, sondern nehmen ihren Weg über die Körperoberfläche. Professor Tatum hat im Jahre 1890 diese Erscheinung mit Hilfe einer Thomsonschen Wechselstrommaschine systematisch untersucht. An Hunden experimentierend, kam er zu dem Resultat, dass Ströme mit einer Wechselzahl von 4500 pro Sekunde weit weniger imstande sind, tödliche Wirkungen hervorzubringen, als gleich starke Ströme von bedeutend geringerer Wechselzahl. Eine Stromspannung von 45 Volt wurde bei einer Wechselzahl von 120 pro Sekunde schon gefährlich, während es bei einer Wechselzahl von 4500 einer Spannung von 495 Volt bedurfte, um mit derselben Stromstärke die gleichen physiologischen Effekte hervorzubringen[1]). Auch W. Korthals hat das Phänomen zum Gegenstande einer

---

die mit einiger Sicherheit bisher gemessen worden sind, 50000 Volt nicht übersteigen und dass die Thomsonschen Schätzungen, die nur durch weitgehende Extrapolation mittelst hypothetischer Schlagweitengesetze gewonnen sein können, daher sehr geringen Wert hätten und aller Wahrscheinlichkeit nach nicht einmal der Grössenordnung nach richtig wären. (Elektrotechnische Zeitschrift 1893, Heft 3.)

[1]) Ausführlicher behandelt in „Physiological effects of alternating currents of high frequency“ von Elihu Thomson, Electrical World 1891, Seite 214, The Electrician Band XXIX, Seite 744.

Digitized by Google

Untersuchung gemacht, die ihn zu folgendem Ergebnis kommen lässt: „Die Kapazität des menschlichen Körpers bewirkt, dass bei gegebener Spannung einer Wechselstromquelle, die Körperspannung bei nicht zu geringem Widerstande zwischen Körper und Stromquelle in hohem Grade abhängig ist von der Anzahl der Wechsel pro Zeiteinheit und zwar derart, dass mit steigender Wechselzahl die Gefährlichkeit einer Wechselstromspannung abnimmt. Aus eben diesem Grunde erweist sich die Berührung einer Hochspannungsspule als durchaus ungefährlich. Wir haben es hier mit einer reinen Kapazitätserscheinung zu thun, die so auffallend in die Augen springt, weil bei hohem Widerstande der Spule die angewandte Wechselzahl eine so enorme ist.“ [1])

Trotz ihrer Ungefährlichkeit und geringen unmittelbaren Wahrnehmbarkeit sind aber die physiologischen Wirkungen der Ströme hoher Wechselzahl namentlich bei längerer Einwirkung, doch nachweisbar und Tesla schlug daher vor, sie zu Heilzwecken auszunutzen. Er sagt im „Electrical Engineer“: „Wenn man eine Person isoliert und sie mit einer Stromquelle von hoher Wechselzahl in Verbindung bringt, erwärmt sich die Haut infolge des molekularen Bombardements. Es ist nur eine Frage der Dimensionierung und Anordnung des Apparates, diese Erwärmung nach Belieben hervorzubringen. Das sich uns aufdrängende Problem ist, zu erfahren, ob nicht ein geschickter Arzt mit Hilfe eines entsprechenden Apparates ein Heilverfahren ausfindig

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1892, Seite 430.

Digitized by Google

machen könnte, bei welchem das obige Phänomen zur Verwendung käme. Die Erwärmung wäre natürlich eine oberflächliche, und würde eintreten, ob nun die betreffende Person nackt oder bekleidet, stehend oder liegend wäre.“ Thatsächlich hat sich denn auch im Laufe der Zeit eine neue Therapie Teslaisation genannt, herausgebildet, die in ihrem Schöpfer Tesla seinem Schüler Robert Scharf in München, den Ärzten Professor Doumer und Lemoine in Lille ihre hauptsächlichsten Vorkämpfer gefunden hat. Ihr Anwendungsgebiet umfasst Nerven-, Stoffwechsel- und gewisse chronische Infektionskrankheiten, namentlich Tuberkulose, bei denen überraschend günstige Wirkungen erzielt worden sein sollen. Man hat für medizinische Zwecke das Instrumentarium einfach dahin modifiziert, dass die Primärwicklung des Transformators als eine weite Spirale um ein grosses Gestell geführt ist, in dem die zu behandelnde Person Platz nimmt, sodass die Sekundärströme direkt in dem leidenden Körper induziert werden.

So haben denn die interessanten Arbeiten Teslas doch ihr Anwendungsgebiet gefunden, wenn auch beschränkt und andern Zwecken dienend, als für die sie eigentlich bestimmt waren.

Digitized by Google

Nachtrag.

Während der Drucklegung der vorstehenden Ausführungen ist ein Stillstand in der Entwicklung der Ereignisse nicht eingetreten, namentlich das kräftig vorwärts strebende Gebiet der Funkentelegraphie hat Zuwachs an einigen erwähnenswerten Neuerungen erhalten, so dass ihre Beschreibung der Vollständigkeit halber an dieser Stelle angefügt sei.

Zunächst ist das System Fessenden unterdessen zur Veröffentlichung gelangt. Die 13 amerikanischen Patentschriften enthalten nicht weniger als 20 Seiten Zeichnungen und 220 Patentansprüche, und es ist thatsächlich nicht zu leugnen, dass das neue System gegenüber den anderen bestehenden allenthalben wesentliche Neuerungen aufweist. Nach Art amerikanischer Erfinder dehnt aber Fessenden seine Neuerungen auch auf einzelne Bezeichnungen aus, so dass die Schilderung seiner Arbeiten zunächst einen komplizierten Eindruck macht. Als Agens verwendet er nicht einfache Hertz-

Digitized by Google

sche Wellen, sondern Wellen, die er „semi-free ether waves", also halbfreie Ätherwellen nennt. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass bei den Hertzschen Wellen den Spannungsbäuchen Minima magnetischer Energie gegenüberstehen, denn, wie bereits früher erwähnt, sind die magnetischen Kräfte stets proportional der Stromstärke; die letztere hat aber da ihren Knotenpunkt, wo die Spannung einen Schwingungsbauch aufweist. Bei den sogenannten halbfreien Ätherwellen fallen aber — nach Fessendens Angaben — die Maxima beider Energieformen, der elektrischen und der magnetischen, zusammen. Sie werden erzeugt in einem Medium, dessen Diëlektrizitätskonstante und Durchlässigkeit den elektrischen Wellen gegenüber grösser ist als Luft. Die Antenne wird nämlich in einen zweiten röhrenförmigen Leiter gesetzt, der mit Wasser oder einer anderen geeigneten Flüssigkeit gefüllt ist. Die Wellenlänge hängt dann nicht mehr von der Länge der Antenne, sondern von den elektrischen Konstanten der verwendeten Flüssigkeit ab. Den Sendedraht selbst hängt Fessenden vertikal an einer Mastspitze auf, und führt von dieser zwei Drähte mit eingeschalteten Selbstinduktionsspulen bis zu einer gemeinschaftlichen Erdleitung herab, die in der Richtung nach der Empfangsstation hin sowie entgegengesetzt auf eine Viertelwellenlänge isoliert über den Erdboden geführt ist. Die Seitendrähte mit den Spulen haben eine von der Schwingung des Sendedrahtes abweichende Eigenschwingung; sie sollen in Verbindung mit den Erdleitungsdrähten atmo-

Digitized by Google

sphärische Störungen wirkungslos machen und es ermöglichen, dass die Wellen genau in vereinbarter Länge den Geber verlassen, also eine möglichst vollkommene Abstimmung ergeben. Von den Erdleitungsdrähten allein verspricht sich Fessenden jedoch einen ganz besonderen Einfluss auf die Richtfähigkeit der ausgestrahlten Energie. Denn er bezeichnet es zur Erzielung einer guten Fernwirkung als unerlässlich, dass die Oberfläche, über welche die Wellen ihren Weg nehmen sollen, von ihrem Ausgangspunkte an gerechnet, mindestens auf eine Viertelwellenlänge hin in der Richtung nach der Empfangsstation gut leitend sei.

Da die Antenne durch ihre eigenartige Kombination eine grosse Kapazität aufweist, die in praxi durch Änderung der Oberfläche geregelt werden kann, so ist nur eine niedrige Induktanz erforderlich; sie wird durch ein paar Windungen in der Verbindungsleitung der Antenne mit der Stromquelle erzielt. Diese letztere, ein Induktor, dessen einer Pol geerdet ist, befindet sich dauernd in Betrieb. Eine eigentliche Zeichenübermittelung findet nur dadurch statt, dass die Schwingungsperiode des Senders durch Zu- oder Abschalten von Kapazität und Selbstinduktion auf eine der Länge des Zeichens entsprechende Zeit in Resonanz mit der Schwingung des Empfängers gebracht wird. Die dafür erforderliche Vorrichtung, die in Serie mit dem Luftleiter zwischen dem Induktor und Erde liegt, besteht aus einem Gitter paralleler Drähte, welches in einem mit Öl gefüllten Kasten untergebracht ist. Ein besonders

Digitized by Google

konstruierter Telegraphentaster gestattet eine beliebige Zahl dieser Drähte kurzzuschliessen und den zur Erzeugung einer reinen, eine gute Abstimmung ermöglichenden Sinuswelle erforderlichen Ausgleich zwischen Kapazität und Induktanz herbeizuführen.[1]) Um ohne Rücksicht auf das Potential die verlangte Abhängigkeit von Induktanz, Kapazität und Widerstand aufrecht erhalten zu können, ist die Funkenstrecke in komprimierter Luft untergebracht, deren Druck, welcher auf die Diëlektrizitätskonstante bestimmend einwirkt, regelbar ist.

Das wesentlich Neue der Empfangsvorrichtung besteht in der Anwendung des Bolometers als Wellenindikator. Das von Langley erdachte Bolometer ist ein einfacher, jedoch äusserst präzise wirkender Apparat, den man als elektrisches Thermometer bezeichnen kann. Er enthält einen feinen Metallstreifen, etwa aus Stanniol geschnitten, der die Temperaturschwankungen des umgebenden Mediums durch entsprechende Widerstandsveränderung mitmacht, ein Vorgang, der sich mittels geeigneter Instrumente, wie Galvanometer oder Telephon, verfolgen lässt. Während aber das Bolometer in seiner eigentlichen Form eine im Vergleich zu seiner Masse

[1]) Bedingung für die Erzeugung reiner Sinuswellen ist nämlich, dass das Verhältnis der Kapazität zur Induktanz pro Längeneinheit in allen Teilen des Leiters möglichst dasselbe sei. Diese Forderung wird aber in ausgezeichneter Weise durch das aus einfachen Drähten bestehende Gitter Fessendens erfüllt, während in den von allen anderen Systemen benutzten Spulen innere Reflexionen auftreten und sich die Grösse der Induktanz nach dem Betrage des Widerstandes richtet.

Digitized by Google

grosse Oberfläche besitzt, um die Wärme besser absorbieren und dann wieder leicht ausstrahlen zu können, ist bei dem Fessendenschen Indikator das Gegenteil befolgt worden, in Rücksicht darauf, dass die wechselnde Erwärmung diesmal nicht durch das umgebende Medium, sondern durch direkt zugeführte elektrische Energie erfolgt. Bei ihm ist die Oberfläche des empfindlichen Teiles sehr klein gehalten, damit die Leitungsverluste die Verluste durch Ausstrahlung überwiegen. Ausserdem ist auch die Wärmekapazität ausserordentlich gering, so dass eine äusserst kleine Energiemenge schon eine genügende Erwärmung hervorruft. Zur Erzielung dieser Wirkungen wird statt des Stanniolstreifens eine kurze Schleife Silberdraht mit einem Durchmesser von 0,050 Millimeter verwendet, der eine 0,015 Millimeter starke Platinseele enthält. Diese Seele ist an der Schleifenspitze durch eine Ablösung des Silbers mittels Salpetersäure blossgelegt und zum Schutze gegen Wärmeausstrahlung isoliert in eine kleine Silberglocke eingeschlossen. Das Ganze ist in einer evakuierten Glasbirne untergebracht. Von diesen Indikatoren sind stets mehrere an einer Hartgummischeibe befestigt, die es gestattet, bei Unwirksamwerden den einen gegen den andern auszutauschen. Fessenden benutzt das Bolometer in Verbindung mit dem Telephon; es arbeitet schneller als der Kohärer und hat ausserdem den Vorteil, die Gesamtenergie der Strahlung auszunutzen, während beim Kohärer nur diejenige Kraft zur Wirkung kommt, die erforderlich ist, die Kohäsion hervorzurufen. — An Stelle des eben

Digitized by Google

beschriebenen Indikators nimmt Fessenden auch einen Mikrophonkontakt, konstruiert aus einem Silberring, der auf zwei Messerschneiden aus Silber und einer Schneide aus Kohle ruht.

Der ganze Empfängerkreis enthält in Serienschaltung ferner noch einen Kondensator und ein Abstimmungsgitter, das wieder eine Kombination von Kapazität und Induktanz darstellt. Er ist an den Luftleiter angeschlossen, derart, dass er zur Funkenstrecke einen Nebenschluss bildet, also parallel zur Antenne liegt. Von der letzteren zweigt sich zum Schutze der Einrichtung gegen atmosphärische Elektrizität ferner eine Erdleitung ab mit einem Kohärer, der gleichzeitig eine Klingel als Anrufvorrichtung bethätigt.

Mit den Fessendenschen Einrichtungen sind zwischen Stationen auf Roanoke Island (Nordkarolina) und Kap Hatteras Versuche gemacht worden, die bei einer Telegraphiergeschwindigkeit von zirka dreissig Worten in der Minute eine gute Verständigung ergeben haben sollen. Zur Zeit werden diese Versuche seitens der Marine der Vereinigten Staaten fortgesetzt.

Noch ein zweites amerikanisches System hat kürzlich seine Feuertaufe bestanden. Es baut sich auf einen angeblich neuen Empfänger auf, von seinen Erfindern De Forest und Smythe Responder genannt, der jedoch im Prinzip vollkommen mit der auf Seite 58 beschriebenen Schäferschen resp. Neugschwenderschen Platte übereinstimmt. Der Responder ist nämlich ebenfalls ein Antikohärer. Er besteht aus zwei Metall-

Digitized by Google

elektroden, zwischen welchen sich eine weiche Paste befindet, die aus einer teigartigen zähen Masse, einer elektrolytischen Flüssigkeit und einer grossen Anzahl durch die ganze Masse verteilten winzigen Metallstückchen zusammengesetzt ist. Unter der Einwirkung einer kleinen Lokalbatterie bilden diese kleinen Metallstückchen eine leitende Brücke von verhältnismässig geringem Widerstande zwischen den beiden Elektroden. Sobald elektrische Wellen durch den Apparat gehen, entstehen an der Kathode grosse Mengen winziger Bläschen von freiem Wasserstoff und die leitende Brücke wird unterbrochen, indem der Widerstand ganz erheblich zunimmt. Nach Aufhörung der elektrischen Bestrahlung tritt sofort wieder der ursprüngliche Zustand ein. Der Wasserstoff verbindet sich dann mit dem in der Paste enthaltenen Depolarisator und der Sauerstoff mit dem Metall der Anode. Die Wirkung geht augenblicklich vor sich; eine Erneuerung der Paste ist in der Regel erst nach drei Tagen erforderlich. Als Empfänger selbst dient ein Telephon, welches direkt in den Antikohärerstromkreis eingeschaltet werden kann.

Der Sender des neuen Systems weist im wesentlichen die Braunsche Schaltung auf. Als Stromquelle dient eine Wechselstrommaschine von 500 Volt, die die primäre Wickelung eines Transformators besonderer Bauart speist, welcher die Spannung auf 25000 Volt erhöht. Die sekundäre Spule des Transformators ist durch eine zweiteilige Funkenstrecke geschlossen, welcher eine Batterie von Leydener Flaschen parallel

Digitized by Google

geschaltet ist. Die Pole der Funkenstrecke sind nicht kugelförmig, sondern bestehen aus sphärischen Scheiben, die vertikal und in einer Entfernung von ein Viertel Zoll übereinander angeordnet sind. Diese Anordnung soll eine besonders klare und wirksame Funkenstrecke ergeben. Das System ist bei Manövern der Land- und Seetruppen der Vereinigten Staaten versuchsweise zur Anwendung gekommen und es sind mit ihm gute Erfolge erzielt worden. So wurden zwischen dem Fort Mansfield und dem Kanonenboot Unique auf 80 Kilometer Entfernung Telegramme mit einer Gebegeschwindigkeit von cirka 20 Wörtern in der Minute gewechselt. Die Länge der aus je drei parallelen Drähten bestehenden Luftleitungen betrug dabei nur 20 und 25 Meter.

Endlich sei auch noch eines neuen Kohärers von Branley Erwähnung gethan. Er besteht aus einem auf einer polierten Stahlplatte ruhenden stählernen Dreifuss, dessen Füsse bei einer bestimmten Temperatur schwach oxydiert sind. Der Oxydüberzug erhält sich unverändert mehrere Monate lang. Die Berührungspunkte zwischen dem polierten und dem oxydierten Metall bilden die Kohärerkontakte; sie sind mit einem Trockenelement und einem empfindlichen Relais zu einem Stromkreise verbunden. Die Verbindungen sind derart geführt, dass der Kohärerstromkreis durch den beweglichen Hebel des im sekundären Stromkreise liegenden Morseschreibers geschlossen wird. Bei eintretender Bestrahlung des Kohärers setzt das Relais den Schreibapparat in Thätigkeit; der Schreibhebel bethätigt dann nicht nur den

Digitized by Google

Schreibmechanismus, sondern löst auch die Kohärerkontakte durch einen kleinen Schlag auf die Metallscheibe wieder aus. Nach der Rückkehr des Schreibhebels in die Ruhelage kann ein neuer Wellenimpuls registriert werden. Es ist also ein besonderer Klopfer für den Kohärer überflüssig. Um den Empfänger den Einwirkungen des Gebers der eigenen Station zu entziehen, ist ein kleiner Magnet über dem Dreifuss angebracht, der diesen während des Gebens leicht anhebt. — Welche Erfolge mit dem Branley-Kohärer in der Praxis erzielt worden sind, ist bisher nicht bekannt geworden.

Digitized by Google

Digitized by Google

Alphabetisches Register.

A.

Abstimmung . . 68, 104, 217
Abstimmgitter (Fessenden) 217
Aequipotentialflächen . . 56
Aggregatzustand, vierter 139
Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft . 79, 173, 189
Anion 146
Anode 64
Antennen 54, 55, 56, 67, 71, 73, 98, 115, 216
Antikohärer . . . 58, 220
Äpinus 4
Arco 69
Arons 29
Arrhenius 146
Aschkinass . . . 30, 148
Ätherbewegungen 17, 19, 44
Atherwellen, halbfreie . 216
Auslader 12, 50

B.

Bariumplatincyanürschirm 150, 195
Barometer 123
Bauch der Welle . 24, 70
Bequerel 156, 158
Blochmann 56
Boas 86, 173
Bolometer 218
Boltzmann . . . 42, 155
Bradley 38
Branley 222
Branly 30, 51
Braun . . . 56, 104, 119
Brechung 36
Brechungsexponent . . 36
Brennpunkt 36
Brücke (Lecher) 26
Bunsen 125

C.

Cady 148
Capstick 148
Clausius 146
Crookes 127, 138
Cuneus 8
Curie 157, 162
Czermak 42

D.

Des Coudres 148
Dessauer 193
Diëlektrikum 34

Digitized by Google

Diëlektrizitätskonstante 35, 36
Dorn 158
Doumer 214
Dualistische Theorie . . 4
Dynamobolometer . . . 27

E.

Ebert 148
Elektroden 122
Elektrolyse 145
Elektronen . . . 147, 159
Elster 205
Emanationshypothese . . 19
Empfänger der A. E. G. (Slaby-Arco) . 82, 73, 96
— v. Braun-Siemens 106
— v. Fessenden . . 218
— v. Marconi 51, 113, 117
Empfangsdraht s. Antennen
Entladung, oscillierende 14, 21
— — Theorie der 16
Ernecke 11, 52, 171, 182, 190, 196
Ewing 201
Extrastrom . . . 21, 166

F.

Faraday . . . 2, 139, 140
Faraday-Maxwellsche Theorie . . 15, 17, 34, 44
Feddersen 16
Fessenden 119, 215
Fessendenindikator . . . 218
Fodor 200
Forest, de 220
Fortpflanzungsgeschwindigkeit d. Elektrizität 20, 38, 203
— des Lichts . . . 38
Franklin 4
Fresnel 19
Fritter s. Kohärer
Funkenentladung . . . 7
Funkeninduktor . . . 9, 166

G.

Galvanometer 27
Geber s. Sender
Gehrke 148
Geissler 124, 189
Geisslerröhren 123
Geitel 205
Giese 147
Giesel 158
Gitterversuche 33
Gläser 6
Gleichstrom- Wechselstrom-Umformer . . . 87
Goldstein 136, 148
Graham 148
Grisson 87
Grotthus 145
Guarini 59
Gundelach 193

H.

Halske 20
Hammerunterbrecher 12, 169
Harris 201
Heaviside 204
Helmholtz 19, 163

Digitized by Google

Hense 148
Henry 15
Hertz . . 2, 19, 143, 203
Hertzsche Versuche 21, 64, 144
Herz 148
Heydweiller 211
Hirschmann . . . 174, 192
Hittorf 126, 194
Hochspannungstransformator 204, 205, 213, 214
Hohlspiegel, parabolischer 36
Holtz 6
Hughes 49, 100
Huyghens 19
Hysteresis 117

I.

Impedanz 201, 203
Induktion 9
Induktorium 9, 85
Influenzmaschine . . 5, 165
Interferenz 40

J.

Jaumann 148
Jonen . . . 140, 146, 155

K.

Kanalstrahlen 138
Kapazität 16, 20, 91, 94, 97
Kassette für Röntgenaufnahmen 197
Kathode 64, 127
Kation 146
Kaufmann . . 135, 148, 159
Kirchhoff . . . 16, 39, 125
Kleist 8
Klemencic 38, 42
Knotenpunkt . . . 24, 70
Koch 181
Kohärer . . 31, 51, 90, 111
— Kapazität . . . 91
— Widerstand . . 97
Kohl 50, 173, 176, 179, 189, 195
Kohlrausch 147
Kondensator, Fizeauscher 97, 167
— Flaschen 94, 108
Kontraströhre 190
Korthals 212
Kryptoskop 195
Kugelkondensator . . 7, 21

L.

Langley 218
Lebedew 42, 44
Lecher 25, 56
Lemoine 214
Lenard 144, 148
Leuchtschirm . . . 150, 195
Levy 173, 174, 190
Leydener Flasche 7, 94, 108
Licht, polarisiertes . . . 37
Lichttelegraphie . . . 64
Lisser 6
Lodge 30
Lorenz 18, 160
Luftdruck 123

Digitized by Google

M.

Marconi 45, 49, 112
Maxwell 2, 162
Messbrücke 27
Mikrophon 100
Mikrophonempfänger 100, 220
Morsealphabet 46
Morseschreiber 53
Motorunterbrecher . . . 171
Multiplikator 75
Musschenbroek 8

N.

Neefscher Hammer . 12, 169
Neugschwender 58
Newton 19
Nichols 43
Nicolsches Prisma . . . 38

O.

Ohmsches Gesetz . . . 27
Oscillator von Lebedew . 42
— von Righi . . 50
Oscillierende Entladung 14, 21

P.

Paalzow 16, 27
Pascal 123
Pechblende 157
Perrin 148
Platinunterbrecher . . . 169
Platten für Röntgen-
aufnahmen 197
Plücker 121
Polarisationszelle . . . 97
Polonium 158
Popoff 51
Poynting 204
Preece 45
Primärspule . 10, 166, 204
Puluj 141, 194
Pyke 201

Q.

Quecksilberhammer-
unterbrecher 170
Quecksilbermotorunter-
brecher . . 171, 172, 175
Quecksilberturbinen-
unterbrecher . . 86, 174

R.

Radiator 51
Radioaktivität 158
Radium 158
Rathenau 46
Reverot 211
Reiniger, Gebbert
& Schall . . . 173, 174
Relais 90, 92, 97
Repulsion, Thomsonsche . 44
Resonanz 22
Responder 220
Rhumkorff 9
Richards 181
Richtfähigkeit der Wellen 217
Riecke 148
Righi 49
Römer 38
Röntgen 149

Digitized by Google

Röntgenplatten 197
Röntgenröhren 188
Röntgenröhrenstativ . . 198
Rubens 27, 36, 42, 43, 45, 46, 48
Ruhestromschaltung . . 57
Ruhmer 186

S.

Sammellinse 37
Schäfer 58
Scharf 214
Schleussner, A.-G. . . . 197
Schmidt 157
Schuster 148
Schwingungen, elektr. 17, 71, 104
Schwingungsdauer . 18, 43
Schwingungsgalvanometer 48
Sekundärspule 10, 166, 204
Seibt 119
Selbstinduktion . . 21, 166
Sender d. A. E. G. (Slaby-Arco) . . . 76, 79, 93
— v. Braun-Siemens 104
— v. Fessenden . . 216
— v. Marconi 50, 112, 115
Sendedraht s. Antennen
Siemens 20, 203
Siemens & Halske 104, 173, 184
Simon 148, 185
Sinuswellen 218
Slaby 66, 119
Smythe 220
Spannungsbauch 24
Spannungsknoten . . . 24
Spektralanalyse 125
Spektralröhren 126
Spektrum 39
Spiess 57
Stahlkohärer 112
Starke 148
Stativ f. Röntgenröhren . 197
Stoney 147
Strahlende Materie . . 139
— Elektrodenmaterie 141
Strombauch 25
Stromknoten 25
Strutt 148
Symmer 4

T.

Tatum 212
Taylor 56
Tesla 199
Teslaisation 214
Teslaröhre 208
Teslaschaltung . . 105, 206
Teslatransformator . . . 204
Thermoelement 36
Thomson, E. . 44, 211, 212
Thomson, J. J. 148, 156, 160
Thomson, W. . . . 6, 16
Thorium 157
Töpler 6
Torricelli 123
Transformator 67, 110, 204
Turbinenunterbrecher 86, 173

U.

Ultrarote Strahlen . . . 41
Ultraviolette Strahlen 41, 64

Digitized by Google

Umformer 67, 87
Undulationstheorie . . . 19
Unitarische Theorie . . 4
Unterbrecher . . . 12, 86
Uransalze 156

V.

Vakuumfritter 91
Van't Hoff 163
Verstärkungsschirm . . 196
Voltohm-Gesellschaft . . 173

W.

Walter 155, 181
Warburg 198
Wechselstromgleichrichter 179
Wechselstrommaschinen . 201
Wechselstromunterbrecher 176
Wehneltunterbrecher . . 180
Wellen, Ausbreitung el. 56, 71, 217
Wellen, stehende . . . 24
Wellenbauch 24
Wellenknoten 24
Wellenlänge d. Lichts . 40
— Messung d. . . 40
— Messung d. elektr. 42, 43
Wellenröhre (Arons) . . 29
Wellenversuche 21
Wheatstone . . . 27, 38
Wiechart 148
Wiedemann, E. 148
Wiederholer, automatisch. 59
Wien, M. 106
Wien, W. . . 137, 148, 160
Wimshurst 6
Wood 148
Wüllner 181

X.

X-Strahlen 152

Z.

Zickler 63
Zöllner 160

Buchdruckerei F. J. Eberlein, Pirna.

Digitized by Google

Vom gleichen Verfasser erschienen im Verlage von CARL DUNCKER, Herzogl. Bayer. Hof- und Erzherzogl. Kammer-Buchhandlung, Berlin W. 35, die Bücher:

Die elektrische Maschinenanlage

Eine allgemeinverständliche Darstellung mit praktischen Ratschlägen für die Angestellten elektrischer Betriebe. — 2. Auflage. »»»»»»»

Kart. Mark **1,50.**

Elektrizitätszähler

Ein Vortrag . . . Geheftet Mark **0,60.**

Das Starkstromnetz

(Der elektrischen Maschinenanlage zweiter Teil.) — Eine allgemeinverständliche Darstellung mit praktischen Ratschlägen für Elektromonteure, Maschinenwärter usw. »»»

(Im Druck.)

Digitized by Google

Technikum Mittweida (Königr. Sachsen).

Höhere technische Lehranstalt
für Ausbildung in der **Elektrotechnik** u. im gesamten **Maschinenbau.**
Getrennte Lehrpläne für Elektro-Ingenieure, Maschinen-Ingenieure, Bureau- und Betriebstechniker und Werkmeister des Maschinenbaues und der Elektrotechnik. — Elektrotechn. u. Maschinenbau-Laboratorien, sowie Lehr-Fabrikwerkstätten.
Jahresfrequenz im 36. Schuljahre 3610 Besucher.
Programm etc. kostenlos durch das Sekretariat.

Röntgen-Einrichtungen,
Apparate zur Telegraphie ohne Draht
und zur **Erzeugung von Teslalicht**
sowie alle übrigen physikalischen und meteorologischen Instrumente
liefert als langjährige Spezialität und höchste Vollkommenheit
Max Kohl, Chemnitz i. S.
Werkstätten für Präzisions-Mechanik.
Grösstes Unternehmen auf diesem Gebiete.
Spezial-Kataloge und Kosten-Anschläge gratis!

Digitized by Google

R. Burger, Berlin N. 4

Chausseestrasse 2 E

empfiehlt

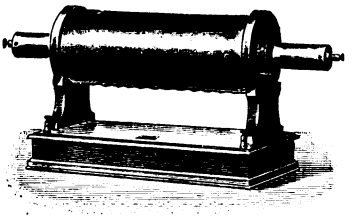
einfache und automatische **Quecksilberluftpumpen,** **Röntgenröhren** *mit und ohne Vakuumregulierung,* **ff. Glasschliffe** *und* **Hähne,** *doppelwandige* **Glasgefässe** *zur flüssigen Luft,* **Markoniröhren** *etc.*

Preislisten gratis.

Induktorien — D. R. P. —

für **Röntgenapparate,** sowie

Komplette Röntgeneinrichtungen



bauen in bisher unerreichter Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit in allen Grössen bis zu 1,5 m Funkenlänge

fr. Klingelfuss & Co.,

in **Basel** (Schweiz).

Weltausstellung Paris 1900: Goldene Medaille.

Illustr. Preislisten zu Diensten.

Digitized by Google

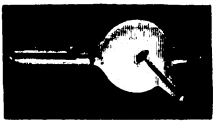
P. & M. Herre, Berlin S. 14

Neue Jacobstrasse 6

Glühlampenfabrik und Glasbläserei.

Glühlampen

für technische
u. wissenschaftliche
Zwecke.



Spezialität:
Mignon-lampen
für medizinische
Zwecke.

Röntgen-Röhren.

Apparate und Röhren
nach Crookes, Puluj, Goldstein, Tesla etc.

Geissler-Röhren.

W. A. Hirschmann

Fabrik elektromedizinischer Apparate.

Gegründet 1862.

Fabrik: **Pankow** bei Berlin, Nordbahnstr. 17. Verkaufsgeschäft: **Berlin N. 24,** Ziegelstr. 30.

Zweiggeschäfte: **Hamburg** und **St. Petersburg.**

Vollständige Röntgeneinrichtungen in allen Preislagen.

Regulierbare Röntgenröhren „Monopol",
D. R. P. angemeldet.

Elektrolytische und **Quecksilber-Unterbrecher**
eigener, bester Konstruktion. D. R. P.

Apparate für hochgespannte Ströme.

Kataloge bitte einzufordern.

Digitized by Google

Digitized by Google

b89088894266a

Digitized by Google

G.E.STECHERT
NEW YORK

Digitized by Google

89088894266

B89088894266A

Digitized by Google